

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

JOÃO PAULO VIEL VIEIRA

**ANÁLISE ECONOMÉTRICA DOS PREÇOS DE MADEIRA DE
EUCALIPTO E RESINA DE PINUS E AVALIAÇÃO ECONÔMICA
ALTERNATIVA PARA SEUS PROJETOS**

Sorocaba
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

JOÃO PAULO VIEL VIEIRA

**ANÁLISE ECONOMETRICA DOS PREÇOS DE MADEIRA DE
EUCALIPTO E RESINA DE PINUS E AVALIAÇÃO ECONÔMICA
ALTERNATIVA PARA SEUS PROJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Planejamento e Uso
de Recursos Renováveis, para obtenção
do título de mestre.

Orientação: Profa. Dra. Monica Fabiana
Bento Moreira Thiersch

Sorocaba
2016

Viel Vieira, João Paulo

Análise econométrica dos preços de madeira de eucalipto e resina de pinus e avaliação econômica alternativa para seus projetos / João Paulo Viel Vieira. -- 2016.

58 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Monica Bento Moreira Thiersch

Banca examinadora: Cláudio Roberto Thiersch, Christian Dias Cabacinha
Bibliografia

1. Opções reais. 2. Bootstrap. 3. Previsão preços. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

JOÃO PAULO VIEL VIEIRA

ANÁLISE ECONOMETRICA DOS PREÇOS DE MADEIRA DE
EUCALIPTO E RESINA DE PINUS E AVALIAÇÃO
ECONÔMICA ALTERNATIVA PARA SEUS PROJETOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação para obtenção do título de
mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.
Universidade Federal de São Carlos.
Sorocaba, 10 de maio de 2016.

Orientadora:



Prof. Dra. Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar Campus Sorocaba

Examinadores:



Prof. Dr. Cláudio Roberto Thiersch
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar Campus Sorocaba

Certifico que a sessão de defesa foi realizada com a participação à distância do membro Dr. Christian Dias Cabacinha (Universidade Federal de Minas Gerais) e, depois das arguições e deliberações realizadas, o participante à distância está de acordo com o conteúdo do parecer da comissão examinadora redigido no relatório de defesa de Dissertação de João Paulo Viel Vieira.



Prof. Dra. Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch
Presidente da Comissão Examinadora
UFSCar-So

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Tadeu e Regina, pelo incentivo, apoio e cobrança em todos esses anos de estudo. AMO VOCÊS.

A minha namorada, Natália, por seu companheirismo, apoio e por ser a minha inspiração em todos os momentos.

A minha orientadora, Profa Dra Monica, por toda sua paciência e sabedoria, não sou uma pessoa nada fácil.

Ao grande professor Dr Cláudio, por toda ajuda e ótimas conversas.

Aos meus amigos de toda hora, “Rosca”, “Motoboy”, “Fer”, Elisa, “RBD”, por estarem sempre presentes comigo.

Aos meus colegas do PPGPUR, pelas horas de estudo, apoio e paciência.

A excelente secretária Lu, por me auxiliar sempre que necessário, mesmo quando quase não era possível.

Ao SEBRAE, por permitir que eu seguisse nessa trilha.

A CAPES, por me subsidiar em um momento difícil.

RESUMO

VIEL VIEIRA, João Paulo. ANÁLISE ECONOMÉTRICA DOS PREÇOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO E RESINA DE PINUS E AVALIAÇÃO ECONÔMICA ALTERNATIVA PARA SEUS PROJETOS. 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2016.

Historicamente, no Brasil, pequenas propriedades rurais eram utilizadas como fonte de subsistência ou áreas de lazer, atualmente também como uma maneira de complementar a renda ou garantir uma forma de previdência. Esses pequenos investidores, por falta de conhecimento, muitas vezes acabam deixando de fazer análises econômicas e de comportamento de mercado antes de se envolverem em projetos florestais. O trabalho teve como objetivo estudar o comportamento dos preços da madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* e a viabilidade econômica de forma tradicional e alternativa de projetos que visam produzir esses dois produtos. Para isso foram utilizados modelos econométricos univariados para fazer a previsão dos preços dos produtos estudados, encontrando um erro máximo de 4,65%. Modelos de heterocedasticidade condicional foram aplicados para prever a volatilidade dos preços de resina e dos preços de madeira de eucalipto para processo, que foram de 5,72% e 4,28% ao mês respectivamente. O método de simulação bootstrap foi utilizado para verificar a volatilidade dos preços de resina pinus, sendo obtido um valor de 8,76%. A teoria das opções reais foi utilizada para verificar a viabilidade econômica de projetos, teve seus resultados comparados com metodologias tradicionais. Além disso, com a volatilidade obtida pelo modelo de heterocedasticidade condicional e pelo método bootstrap foram aplicadas abordagens alternativas dessa teoria, havendo diferença na análise com a volatilidade obtida pelo método bootstrap. Indicam-se maiores cuidados nos estudos de viabilidade para projetos florestais frente ao longo prazo que os mesmos demandam e devido a diferentes resultados de acordo com cada metodologia conforme foi demonstrado nesse trabalho.

Palavras chave: Opções reais, Volatilidade, Bootstrap, GARCH, ARIMA.

ABSTRACT

Historically, in Brazil, small farms were used as a source of livelihood or recreation areas, currently also as a way to supplement income or a way to ensure security. These small investors, for lack of knowledge often end up leaving to make economic analyzes and market behavior before engaging in forestry projects. The work aimed to study the behavior of prices of eucalyptus wood and gum rosin of *Pinus elliottii* and the economic viability of traditional manner and project alternative that aim to produce these two products. For this we used econometric univariate models to forecast the prices of the products studied, finding a maximum error of 4.65%. Conditional heteroscedasticity models were applied to predict the volatility of resin prices and eucalyptus wood prices for the process, which were 5.72% and 4.28% per month respectively. The bootstrap simulation method was used to determine the volatility of pine resin prices, and obtained a value of 8.76%. The theory of real options was used to determine the economic viability of projects, had their results compared with traditional methodologies. Furthermore, the volatility obtained by the conditional heteroscedasticity model and the bootstrap alternative approaches were applied to this theory, no difference in volatility analysis obtained by the bootstrap method. It is indicated greater care in feasibility studies for forest projects across the long term that they demand and due to different results according to each methodology as demonstrated in this work.

Keywords: Real options, Volatility, Bootstrap, GARCH, ARIMA.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3.1. MODELOS ECONÔMICOS UNIVARIADOS – BOX E JENKINS	7
3.2. MODELOS DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL	8
3.3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL	8
3.4. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS	9
3.5. BOOTSTRAP	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
4.1. PREÇOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO E RESINA DE PINUS.....	13
4.2. CENÁRIOS.....	15
4.3. MODELOS ECONÔMICOS UNIVARIADOS – BOX E JENKINS	16
4.4. MODELOS DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL	17
4.5. VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL	17
4.6. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS	17

4.7. BOOTSTRAP	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. METODOLOGIA BOX E JENKINS	21
4.2. MODELO DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL.....	31
4.3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO – VPL.....	36
4.4. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS	39
4.5. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS – ABORDAGENS ALTERNATIVAS	45
4.5.1. Teoria das Opções Reais – Volatilidade a Partir de um Modelo de Heterocedasticidade Condicional	45
4.5.2. Teoria das Opções Reais – Volatilidade a Partir do método Bootstrap	49
6. CONCLUSÕES.....	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Preços em reais de madeira de eucalipto para energia.....	13
FIGURA 2. Preços em reais de madeira de eucalipto para processo	14
FIGURA 3. Preços em reais de madeira de eucalipto para serraria	14
FIGURA 4. Preços em reais de madeira de eucalipto para tratamento	15
FIGURA 5. Preços em reais de resina de pinus.....	15
FIGURA 6. Árvore binomial, adaptada de Brandão (2005)	18
FIGURA 7. Processo de formação da árvore de eventos com flexibilidade (SANTOS & PAMPLONA, 2005)	19
FIGURA 8. FAC e FACP da série original de preços de resina de pinus em reais.....	22
FIGURA 9. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para energia e suas respectivas FAC e FACP	22
FIGURA 10. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para processo e suas respectivas fac e facp.....	23
FIGURA 11. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para serraria e suas respectivas fac e facp.....	23
FIGURA 12. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para tratamento e suas respectivas fac e facp.....	24
FIGURA 13. FAC e FACP do modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para energia	25

FIGURA 14. FAC e FACP do modelo ARIMA(2,1,2) para a série de preços em reais de eucalipto para processo	26
FIGURA 15. FAC e FACP do modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para tratamento.....	26
FIGURA 16. FAC e FACP do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de preços em reais de resina de pinus	27
FIGURA 17. Teste ljung-box dos resíduos modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para energia	27
FIGURA 18. Teste ljung-box dos resíduos modelo ARIMA (2,1,2) para a série de preços em reais de eucalipto para process	28
FIGURA 19. Teste ljung-box dos resíduos modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para tratamento	28
FIGURA 20. Teste ljung-box dos resíduos modelo ARIMA(2,0,4) para a série de preços em reais de resina de pinus.....	29
FIGURA 21. Série de retornos de preço em reais de resina pinus e suas respectivas FAC e FACP.....	31
FIGURA 22. Análise dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais da resina de pinus	32
FIGURA 23. Análise do quadrado dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais da resina de pinus	33
FIGURA 24. Série de retornos de preço em reais de madeira de eucalipto para processo e suas respectivas FAC e FACP	34
FIGURA 25. Análise dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais de madeira de eucalipto para processo	35

FIGURA 26. Análise do quadrado dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais de madeira de eucalipto para processo	35
FIGURA 27. Árvore de eventos sem flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de <i>Pinus elliotti</i>	39
FIGURA 28. Árvore de eventos com flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de <i>Pinus elliotti</i>	40
FIGURA 29. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de <i>Pinus elliotti</i>	41
FIGURA 30. Árvore de eventos com flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de <i>Eucalyptus sp</i>	43
FIGURA 31. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de <i>Eucalyptus sp</i>	44
FIGURA 32. Árvore de eventos sem flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de <i>Pinus elliotti</i> a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional	46
FIGURA 33. Árvore de eventos com flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de <i>Pinus elliotti</i> a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional	47
FIGURA 34. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de <i>Pinus elliotti</i> a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional	48
FIGURA 35. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de <i>Eucalyptus sp</i> a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional	49

FIGURA 36. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* para extração de resina a partir da volatilidade calculada pelo bootstrap**50**

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. P-valores do teste ADF das séries originais	21
TABELA 2. P-valores do teste ADF da primeira diferença das séries originais	24
TABELA 3. Informações sobre os modelos escolhidos	25
TABELA 4. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais para madeira de eucalipto para energia	29
TABELA 5. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(2,1,2) para a série de preços em reais para madeira de eucalipto para processo	30
TABELA 6. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais para madeira de eucalipto para tratamento	30
TABELA 7. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(2,0,4) para a série de preços em reais para resina de pinus.....	30
TABELA 8. Custos de implantação de uma floresta produtora de resina pinus durante 8 anos.....	36
TABELA 9. Valor presente líquido da área produtora de resina de pinus considerando uma taxa de 10% ao ano	37
TABELA 10. Valor presente líquido de uma floresta de eucalipto para produção de celulose considerando uma taxa de 10% ao ano.....	38
TABELA 11. Valores de abandono do projeto de implementação de uma floresta de <i>pinus elliotti</i>	41
TABELA 12. Valores de abandono do projeto de implementação de uma floresta de <i>eucalyptus sp</i>	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRAF Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AIC Akaike Information Criteria
ARESB Associação Dos Resinadores Do Brasil
ARCH Autoregressive Conditional Heteroscedasticity,
ARIMA Autoregressive Integrated Moving Average;
BIC Bayesian Information Criteria
CEPEA Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CMP Custo Médio de Produção
E-GARCH Exponential General Autoregressive Conditional Heteroskedastic
EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAC Função de Autocorrelação
FACP Função de Autocorrelação Parcial
GARCH Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity
IBÁ Indústria Brasileira de Árvores
IEA Instituto de Economia Agrícola
BGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PIB Produto Interno Bruto
PNF Programa Nacional de Florestas
REPEMIR Reflorestamento de Pequenos e Médios Imóveis Rurais
TIR Taxa Interna de Retorno
TOR Teoria das Opções Reais
VET Valor Esperado da Terra
VPL Valor Presente Líquido

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, no Brasil, pequenas propriedades rurais eram utilizadas como fonte de subsistência ou áreas de lazer. Nas últimas décadas, pessoas da cidade foram a procura de novas formas de investimento e encontraram no campo uma maneira de complementar a renda ou garantir uma forma de previdência. Nesse contexto, muitas pessoas, as quais muitas vezes sequer tiveram algum contato com negócios rurais, se envolveram em projetos agropecuários, hortifrutigranjeiros ou florestais.

Os donos de pequenas propriedades rurais começaram a se interessar pelo setor florestal a partir da década de 70, na qual houve um “boom” na área plantada de *Pinus sp* e *Eucalyptus sp*, resultante de políticas governamentais de incentivo fiscal, como o REPEMIR (Reflorestamento de Pequenos e Médios Imóveis Rurais). Na década 80, devido a crise que ocorria, o modelo de incentivos fiscais acabou se inviabilizando e houve diminuição no interesse por plantios florestais. Já na década de 90 as políticas florestais tiveram maior cunho conservacionista (KENGEN, 2001).

Ainda nos anos 90, houve uma grande prática das políticas de fomento florestal, essas feitas por grandes empresas florestais, como a Aracruz, beneficiando pequenos produtores (SIQUEIRA et al, 2004). Já a partir dos anos 2000, com a criação do PNF (Programa Nacional de Florestas), que teve por objetivo promover o desenvolvimento florestal sustentável, apareceram políticas mais incisivas para pequenos produtores.

Atualmente, cada vez mais pessoas têm investido em projetos florestais. Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (2015) existem no Brasil aproximadamente 7,1 milhões de hectares de florestas plantadas, divididas em nativas e exóticas, sendo as principais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Florestas as quais servem de importante base para o setor florestal brasileiro, que em 2014 na última atualização feita pelo IBÁ (2016), apresentou um PIB de aproximadamente 60,6 bilhões de reais.

Já o estado de São Paulo possui uma área total plantada de aproximadamente 1,35 milhão de hectares, sendo 1,1 milhão de hectares do gênero *Eucalyptus*, 200 mil hectares do gênero *Pinus* e a área restante dividida entre diversas espécies (ABRAF, 2013). Segundo o IEA (2015) essa área deu origem em 2011 a aproximadamente 7,5% do PIB do agronegócio paulista, o qual representa, segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2015), 20% do PIB desse setor no Brasil. Simplificando, o PIB do setor florestal do estado de São Paulo representa 1,5% do PIB do agronegócio brasileiro.

Como dito anteriormente, um setor com essa magnitude atrai investidores de todos os portes, desde grandes empresas com *know how*, até pequenos investidores iniciantes, e muitas

vezes, leigos. Esses pequenos investidores, por falta de conhecimento, muitas vezes acabam deixando de fazer análises econômicas e de comportamento de mercado antes de se envolverem em projetos florestais. A longo prazo, não é possível garantir que qualquer projeto seja rentável sem a mesma.

Como levantado por Gastaldi e Minardi (2012), os trabalhos utilizam na avaliação de projetos florestais basicamente os seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Custo Médio de Produção (CMP), Razão Benefício Custo, Valor Esperado da Terra (VET) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Trigeorgis (1996) fala que a metodologia tradicional deixa de fora as incertezas, flexibilidades e riscos inerentes a qualquer investimento. Já Baran (2005) diz que o fato dos fluxos de caixa serem engessados pode comprometer a decisão de implantação. Outro problema passível de ser observado na metodologia tradicional é a utilização de preços defasados, ou apenas com uma variação pré-determinada, sem uma análise mais profunda, tal como a análise de sensibilidade na averiguação de viabilidade econômica de projetos florestais.

Observando a problemática é necessário traçar rotas para otimizar as decisões de curto, médio e longo prazo, isso é possível fazendo um estudo do mercado dos produtos de interesse e posterior análise de viabilidade econômica de projetos visando a produção dos produtos de interesse.

Geralmente é possível observar o preço dos produtos, sua variação e seu valor futuro como importantes indicadores de mercado, sendo os dois últimos fatores raramente observados dentro de estudos na área florestal. Já para a análise de viabilidade econômica, geralmente são utilizadas as metodologias tradicionais, com os seus problemas já conhecidos. Uma metodologia que engloba as incertezas e riscos envolvidos, além das flexibilidades operacionais, é a Teoria das Opções Reais (TOR), ainda pouco utilizada dentro do setor florestal.

Assim, como é observada a predominância das espécies de pinus e eucalipto no estado de São Paulo (como no Brasil), sugere-se um estudo sobre o mercado de produtos relacionados a essas duas espécies. Neste trabalho pretende-se estudar o preço da madeira de eucalipto para diversos produtos, mercado que no ano de 2011 gerou um PIB de R\$4 bilhões (IEA, 2012). Também pretende-se estudar o preço da goma resina da espécie *Pinus elliottii*, mercado que por si só segundo a Associação de Resinadores do Brasil (ARESB) gerou em 2014 a quantia de R\$300 milhões.

Pretende-se também procurar alternativas para verificar a viabilidade da implementação de projetos para produção da madeira de eucalipto e da goma resina de *Pinus elliottii* sob a ótica do pequeno e médio produtor.

2. OBJETIVO

O trabalho tem como objetivo estudar o comportamento dos preços da madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* e a viabilidade econômica de projetos que visam produzir esses dois produtos.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Determinar a volatilidade dos preços da madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* utilizando métodos de simulação.

-Construir um modelo de previsão dos preços da madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* utilizando modelos econométricos univariados através da metodologia de Box, Jenkins e Reinsel (1994).

-Calcular a volatilidade dos preços da madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* utilizando modelos de heterocedasticidade condicional.

-Fazer a análise de viabilidade econômica de projetos para produção de madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* através da metodologia tradicional (VPL).

- Fazer a análise de viabilidade econômica de projetos para produção de madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* utilizando a Teoria das Opções Reais na forma original.

- Fazer a análise de viabilidade econômica de projetos para produção de madeira de eucalipto e goma resina de *Pinus elliottii* utilizando a Teoria das Opções Reais a partir da volatilidade calculada de forma alternativa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. MODELOS ECONOMÉTRICOS UNIVARIADOS – BOX E JENKINS

Os preços de um determinado produto ao longo do tempo formam uma série temporal, sendo que a mesma pode ser modelada para que o preço futuro seja previsto. Um dos métodos mais simples e eficazes para que isso seja feito é a utilização de modelos econométricos univariados (BUENO, 2011).

Para que seja possível fazer essa modelagem é necessário que a série temporal seja estacionária. Uma série temporal é considerada estacionária se ela responder as seguintes condições: o segundo momento centrado deve ser finito, a média deve ser igual para todo período mesmo que a distribuição da variável aleatória mude durante o tempo, sua variância seja constante para todo período e a autocovariância não dependa do tempo (BUENO, 2011).

Os seguintes modelos univariados são mais utilizados (BUENO, 2011):

- Médias Móveis (MA), no qual a série temporal Y_t depende do erro contemporâneo e dos erros passados em t . A ordem de um modelo MA(q) leva em consideração a quantidade de valores anteriores de ε (termos aleatórios), conforme a Equação 1:

$$Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} \dots - \theta_p \varepsilon_{t-p} \quad 1)$$

em que: θ = parâmetro; e ε_t = termos aleatórios.

- Autorregressivo (AR), onde a série temporal Y_t é descrita somente pelos seus valores realizados e pelos termos aleatórios. O referido modelo de ordem AR(p) será o resultado da soma ponderada de p valores passados e do termo aleatório, conforme a Equação 2:

$$Y_t = \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad 2)$$

em que: θ_t = parâmetro; e ε_t = termos aleatórios.

- Média Móvel Autorregressivo (ARMA), é simplesmente a combinação dos dois modelos anteriores (1) e (2), com ordens p e q . Representado pela Equação 3:

$$Y_t = \theta_1 Y_{t-1} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad 3)$$

- Média Móvel Autorregressivo com sazonalidade (SARIMA), em algumas séries temporais pode haver influência de clima ou datas causando variações externas nelas, para isso faz-se a dessazonalização das mesmas através desse modelo.

No setor florestal existem alguns trabalhos que utilizam esses modelos para a previsão de preços. Em Coelho Junior et al. (2006) por exemplo, foi feita uma análise dos preços de carvão vegetal no estado de Minas Gerais, em que o modelo que forneceu os melhores ajustes e previsões foi um SARIMA (2,0,1)(0,1,1)₁₂, apresentando resultados satisfatórios. Já em Cordeiro et al. (2010), buscou-se fazer previsões para o preço de exportação da madeira de

Pinus no Brasil e os resultados indicaram que o modelo mais adequado para essas previsões foi um ARIMA (3,1,0).

3.2. MODELOS DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL

Para a aplicação dos modelos econométricos mais comuns espera-se que haja estacionariedade da série temporal. Um dos requisitos para que ela ocorra é que a variância ao longo do tempo seja constante. Caso isso não ocorra, ou seja, a variância difere nos pontos ao longo do tempo, uma nova classe de modelos poderá ser utilizada (BUENO, 2011). Esses modelos podem ser utilizados em séries de retorno dos preços, ou seja, em séries da variação dos preços ao longo do tempo.

Ainda segundo Bueno (2011), esses modelos foram sendo melhorados ao longo do tempo sendo os principais modelos de heterocedasticidade condicional apresentados a seguir:

-GARCH, os modelos ARCH necessitam de muitos parâmetros para atingirem um bom nível de acurácia, assim eles tiveram sua fórmula da variância modificada, atingindo assim um modelo mais parcimonioso.

-GARCH-M, acrescentou-se ao modelo GARCH a equação da média à variável explicativa, pois no modelo anterior perdiam-se as variâncias mensais devido a necessidade de fazer uma regressão para encontrar os valores anuais, o que não ocorre nesse modelo.

-TGARCH, os modelos anteriores consideram que choques positivos e negativos causam o mesmo efeito na volatilidade de uma série temporal, quando o que é observado na realidade é de que os segundos aumentam a volatilidade mais que o primeiro. Nesse modelo foi inserida uma variável *dummy* que leva em consideração a direção do impacto aleatório que a série sofre.

-EGARCH, esse modelo, além de permitir a absorção de impactos assimétricos, assim como o anterior, ainda permite que existam coeficientes negativos, através da logaritmização do modelo.

Esses modelos são amplamente utilizados para o cálculo da volatilidade dos preços de “*commodities*”, ou seja, diretamente ligado ao mercado financeiro. O trabalho mais próximo a realidade florestal foi o de Caproni (2008), que buscou estudar a volatilidade da borracha natural na bolsa de valores da Malásia.

3.3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO – VPL

Segundo Silva (2005), o VPL de um projeto é definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado, ou seja, é a diferença entre o valor

presente das receitas e o valor presente dos custos do projeto em questão. Se um projeto apresenta VPL maior que zero ele é atrativo economicamente, sendo necessária uma taxa de desconto pré-determinada para o seu cálculo.

O fluxo de caixa descontado (FCD), que é utilizado para o cálculo do VPL, consiste na comparação do valor do capital em tempos distintos. O FCD é a transferência do capital de um tempo futuro para o seu valor na data presente, utilizando-se de um taxa de desconto (ASSAF NETO, 2008).

Assim, devido a dependência de poucas variáveis, a facilidade de obtenção dos dados envolvidos, assim como a maior simplicidade das fórmulas envolvidas, fazem com que essa metodologia seja amplamente utilizada. Pois a análise da teoria clássica do VPL se resume ao seu sinal, quando positivo, aceita-se o projeto e, caso o sinal seja negativo, rejeita-se o investimento, considerando apenas a sua ótica, pois o VPL é utilizado juntamente de outros indicadores nas análises e sozinho não significa nada. Assim, na maioria absoluta de trabalhos que visam analisar a viabilidade de projetos florestais, essa metodologia é aplicada.

3.4. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

A Teoria das Opções Reais é utilizada para valoração de ativos reais, ou seja, bens suscetíveis de serem vendidos ou transformáveis na forma mais líquida, o dinheiro. Uma opção real é a gama de decisões que o proprietário de uma área pode tomar a respeito dos seus ativos reais. Porém, para iniciar o estudo é necessário fazer uma analogia dessa teoria com a teoria das opções financeiras, pois segundo Dixit e Pindyck (1994) ela foi desenvolvida nos mercados financeiros e só depois foi relacionada com investimentos em ativos reais.

As opções financeiras são títulos derivativos escritos sobre ações, índices de bolsas, commodities, taxa de juros futura, câmbio e contratos futuros, entre outros. Enquanto que as opções reais são relacionadas às oportunidades de investimentos em ativos reais, que não são negociados no mercado financeiro, como indústrias, plantações, expansões e vendas de áreas. (MONTEIRO, 2003)

Segundo Trigeorgis (1996), para um projeto possuir valor para opção real, deve embutir três características: o investimento necessário deverá ser total ou parcialmente irreversível, ter flexibilidade que admita adiamento, suspensão, ampliação e venda, e, também, que os fluxos de caixa futuros sejam incertos.

Ainda segundo Trigeorgis (1996), o VPL não é um método que deve ser deixado de lado, pois as opções reais completam as lacunas por ele deixadas, assim essa metodologia deve ser utilizada em complemento ao VPL, sendo o valor com as opções reais considerada

um VPL expandido, pois a TOR leva em consideração os riscos, incertezas e flexibilidades que o método tradicional deixa de fora.

Apesar da TOR ser mais completa que o VPL, essa metodologia também possui seus problemas. Segundo Santos e Pamplona (2002), existe uma fragilidade na teoria, os dados necessários para o cálculo da volatilidade podem muitas vezes não existir, impossibilitando o uso da metodologia. Souza Neto et al. (2008) dizem que a não comercialização do ativo no mercado financeiro dificulta a sua valoração.

Existem diversos tipos de opções reais, elas abrem um diverso leque de possibilidades para o investidor, as principais são: abandono, adiamento, diferimento, expansão, retração e composta. Porém dentro de um investimento, normalmente, leva-se em consideração apenas uma opção real.

A opção mais utilizada é a opção de abandono. É uma opção de venda americana, aplicada principalmente a investimentos parcialmente irreversíveis, onde há a possibilidade de vender as instalações, maquinário, entre outros. Esta opção permite que o investidor pare um projeto em andamento, deixando de incorrer em custo devido à baixa do preço e recebendo o valor de abandono ou salvamento.

Esta opção é muito importante quando se trata de projetos de pesquisa e desenvolvimento, da extração e desenvolvimento de recursos naturais, de desenvolvimento de novos produtos e programas de fusões e aquisição. (COPELAND & ANTIKAROV, 2002)

A tomada de decisões sobre um projeto é dada a partir da construção de uma árvore de decisões. Segundo Pamplona e Montevechi (2005), a árvore de decisão é uma representação gráfica simples e de fácil interpretação que permite visualizar as consequências de decisões atuais e futuras e, ainda, os eventos aleatórios relacionados.

Ela apresenta os valores do projeto em suas ramificações dentro de intervalos de tempo determinados dentro do período de existência do investimento. O valor inicial, ou seja, o primeiro nó, é composto pelo VPL e todas as demais análises são feitas a partir desse ponto.

Dentro do setor florestal, alguns autores já se utilizaram dessa ferramenta para avaliar projetos florestais, como Brobouski (2004), Gastaldi e Minardi (2009) e Joaquim (2012). O primeiro utilizou-se das opções reais para avaliar um contrato de preço mínimo como ferramenta para incentivar o plantio de pinus no sul do Brasil, chegando a conclusão de que esses contratos reduziram o risco do produtor. O segundo autor avaliou a postergação ou adiantamento da colheita de eucalipto através das opções reais, concluindo que a ferramenta é útil para tal avaliação. Já a terceira autora utilizou as opções reais para analisar a viabilidade

econômica da implementação de um Sistema Agroflorestal, chegando a conclusão de que o empreendimento foi viável economicamente

3.5. MÉTODO BOOTSTRAP

O método “bootstrap”, desenvolvido por Efron (1979), baseia-se no princípio de que não havendo melhor informação, a distribuição de frequências na amostra é a melhor indicação da sua distribuição no universo amostral. Por isso, com auxílio de técnicas de programação, um algoritmo para a reamostragem dos dados através de simulação é desenvolvido. O procedimento Bootstrap consiste na replicação do processo de estimação via reamostragem, através da amostra original ou da distribuição da variável de interesse com parâmetros estimados via amostra original (EFRON e TIBISHIRANI, 1993).

O Bootstrap pode ser paramétrico ou não paramétrico. O não paramétrico considera que a função de distribuição dos dados é desconhecida e estima através da distribuição empírica. Já o paramétrico considera que a função de distribuição dos dados pode ser estimada a partir de um modelo paramétrico conhecido para os dados (CUNHA e COLOSIMO, 2003).

Esse método tem diversos tipos de aplicações, principalmente onde os modelos tradicionais têm certas dificuldades em obter resultados satisfatórios (BARROS et al., 2010). Um ponto importante é que no processo de inferência de um determinado parâmetro não se pode valer simplesmente da utilização de uma estimativa pontual, pois esta, não apresenta medidas de precisão e confiança. Já com a utilização da reamostragem Bootstrap, é possível a obtenção de estimativas intervalares dos parâmetros de interesse, como intervalos de confiança, erro de estimação, realização de testes de hipóteses e outros (SILVA e MARQUETTI, 2009). Essa técnica permite obter medidas de interesse para avaliar tais incertezas sem a necessidade de fazer suposições fortes ou de realizar cálculos analíticos complexos (QUEIROZ, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. PREÇOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO E RESINA DE PINUS

Os dados de preços de eucalipto para o estado de São Paulo foram obtidos a partir do Instituto de Economia Agrícola (IEA), do governo do estado de São Paulo. Foram utilizados os preços de madeira de eucalipto para energia, processo, tratamento e serraria, compreendendo o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2013. Já os preços de goma resina de *Pinus elliottii* para o estado de São Paulo foram obtidos da Associação dos Resinadores do Brasil (ARESBR), compreendendo o período de janeiro de 2001 a setembro de 2015. As séries podem ser observadas das Figuras 1 a 5.

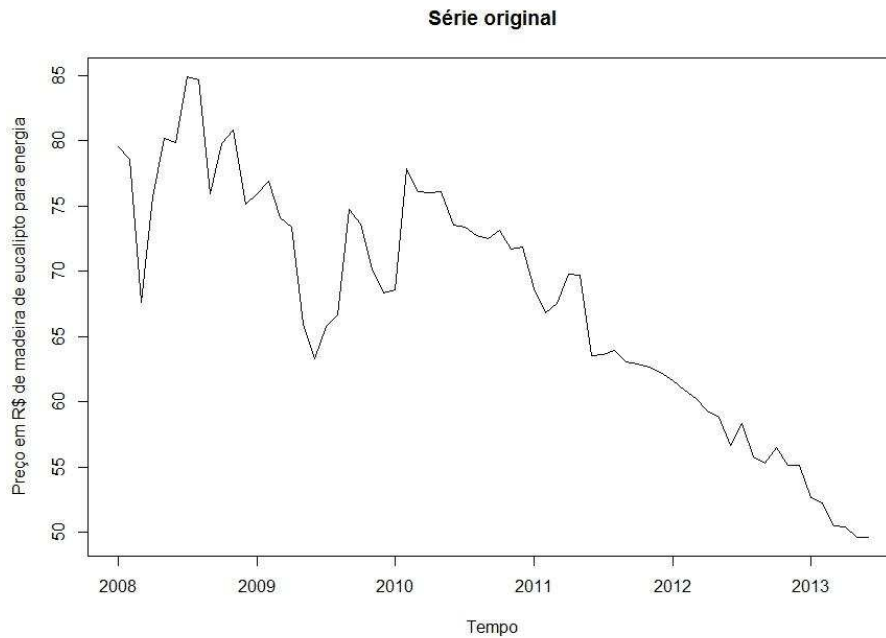


Figura 1. Preços em reais de madeira de eucalipto para energia.

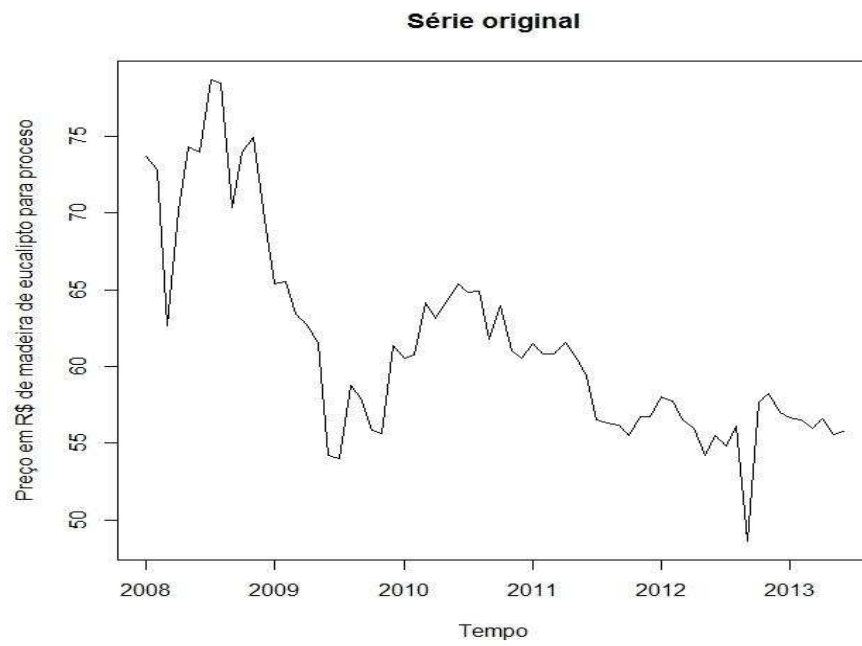


Figura 2. Preços em reais de madeira de eucalipto para processo.

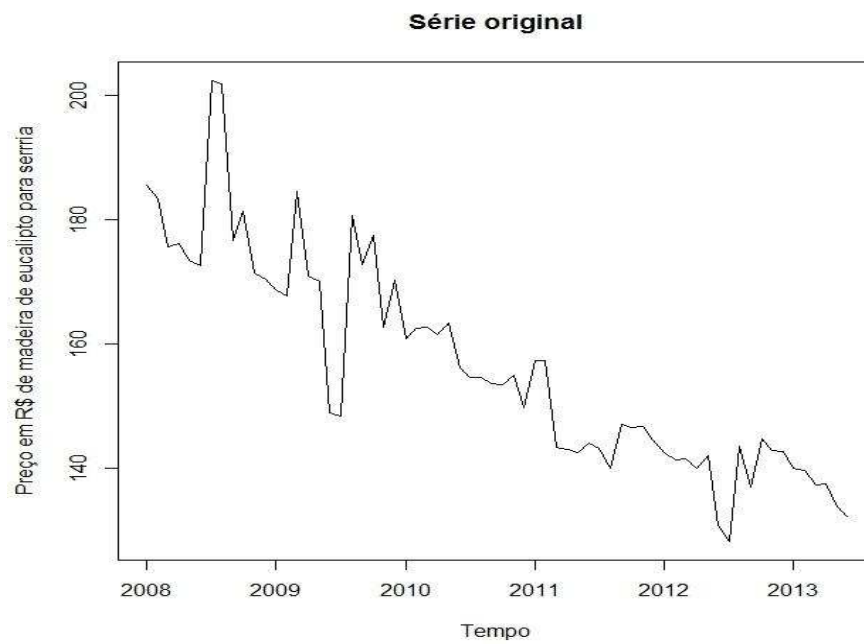


Figura 3. Preços em reais de madeira de eucalipto para serraria.

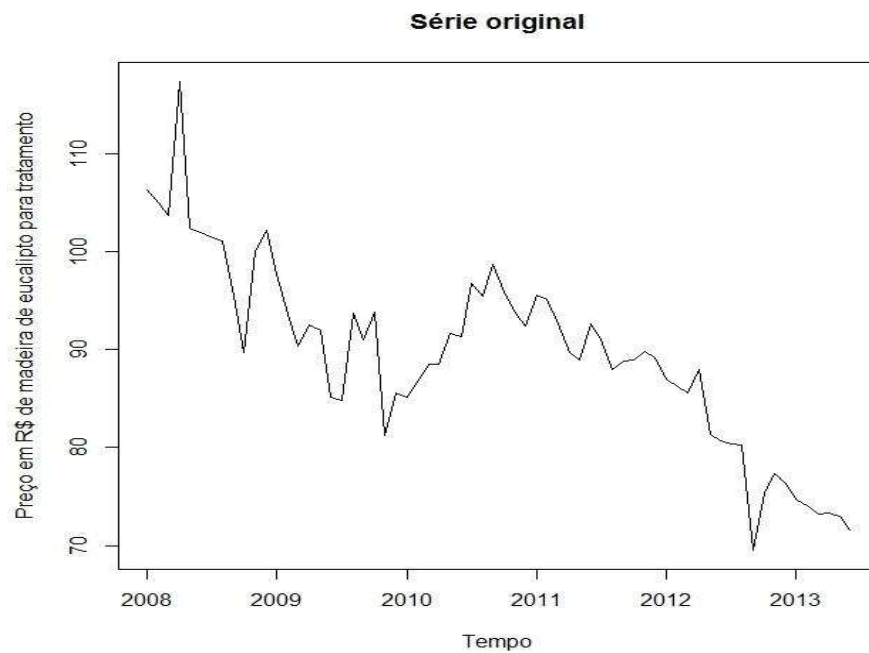


Figura 4. Preços em reais de madeira de eucalipto para tratamento.

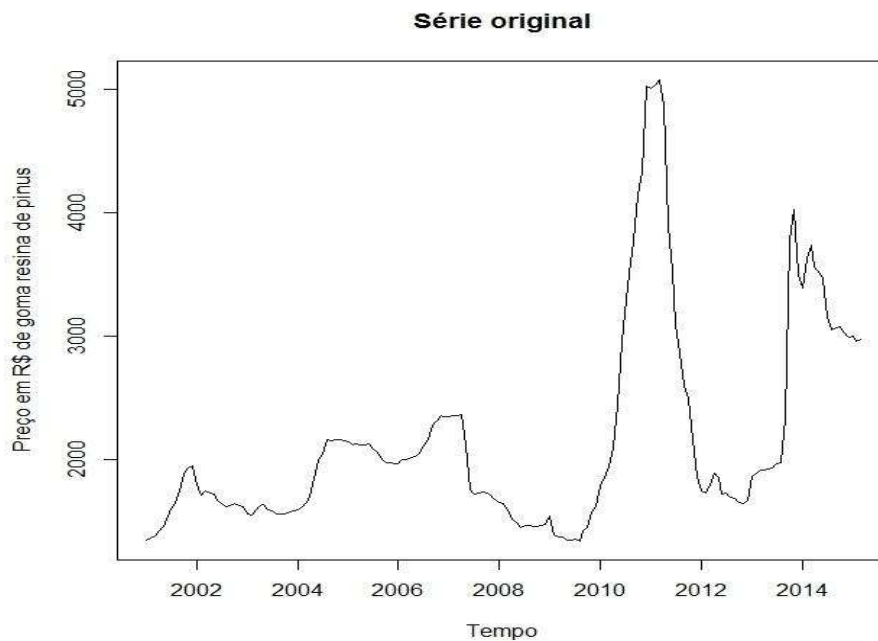


Figura 5. Preços em reais de resina de pinus.

4.2. CENÁRIOS

Para as análises de viabilidade econômica considerou-se uma área rural de 72 hectares localizada no município de Ribeirão Grande – SP, que fica distante 250 Km da capital do estado. Hipoteticamente adquirida no ano de 2007.

Em um primeiro cenário, irá se considerar que a área em questão contém uma floresta com 80 mil árvores da espécie *Pinus eliotti*, com idade de 8 anos. Cada árvore da floresta é uma unidade produtiva de resina de pinus, o ativo em questão a ser valorado. A produtividade dessas árvores em média, obtida através da média dos produtores que trabalham com a mesma espécie na região, é de 3 Kg de resina por ano. Será considerada uma taxa de mortalidade 2% ao ano devido à exploração dessas árvores e o investimento terá uma duração de 10 anos.

Em um segundo cenário, considerar-se-á que o empreendimento irá se iniciar do zero na mesma área da cidade de Ribeirão Grande, sendo a área útil para plantio de 50 hectares.

4.3. MODELOS ECONOMETRICOS UNIVARIADOS – BOX EJENKINS

Segundo Bueno (2011) para aplicar a metodologia de Box, Jenkis e Reinstel (1994) são necessários quatro passos: identificação, estimação, verificação e previsão. É necessário lembrar que a série temporal deve ser estacionária, se não, ela deve ser diferenciada até que assim se torne.

Para a identificação da série temporal foram utilizadas a Função de Autocorrelação (FAC) e a Função de Autocorrelação Parcial (FACP), as quais auxiliam na identificação do modelo ARMA(p,q). A FAC foi usada também para indicar se há estacionariedade da série temporal (BUENO, 2011). O teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) foi utilizado para verificar estacionariedade da série, sua hipótese inicial é de que há raiz unitária, ou seja, não há estacionariedade na série temporal.

O indicador que auxiliou na seleção do melhor modelo foi o Akaike Information Criteria (AIC) em que quanto menor o valor, melhor o modelo. Segundo Bueno (2011), esse critério ajuda a encontrar o número ideal de parâmetros de um modelo, sendo que ele funciona melhor para pequenas parcelas.

Para a verificação do modelo escolhido também foram observadas a FAC e FACP dos mesmos, nos quais é esperado que não haja autocorrelação dos resíduos em nenhum lag de defasagem, ou seja, que os resíduos formem um ruído branco, que possuam distribuição normal, média zero, variância constante e sejam não correlacionados. O teste de Ljung-Box também foi feito para corroborar com a observação anterior.

A estimação foi feita através de uma função de máxima verossimilhança. Os resíduos dessa estimação devem ter características de ruído branco, ou seja, média igual a zero e variância constante, o que é observado através da FAC e FACP. Nos resíduos também foram feitos os seguintes testes: teste de normalidade e teste de Jarque-Bera (similar ao teste de

normalidade, fornece curtose e assimetria). Todos os testes foram feitos a um nível de significância de 5%.

A previsão foi relativamente simples e deu-se pela aplicação do modelo na série temporal e sua acurácia testada através da comparação com os valores observados, separados inicialmente.

4.4. MODELOS DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL

A geração de um modelo GARCH segue inicialmente os passos dos modelos de AR, MA e ARMA, deve-se utilizar os resíduos da estimação do melhor modelo ARIMA possível. A partir desse momento segue-se outro caminho. Armazenam-se os resíduos do modelo ARIMA e utilizam-se os seus quadrados.

Após obter o quadrado dos resíduos, observa-se a FAC e FACP dos mesmos para verificar a presença dos efeitos da heterocedasticidade condicional. A mesma ocorrendo, segue-se para os próximos passos. Faz-se o ajuste do melhor modelo GARCH com auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011), escolhendo o melhor modelo através do menor erro possível e com todos coeficientes significativos (teste t), e em seguida testam-se os resíduos. Os resíduos foram testados utilizando o teste de Jarque-Bera e Ljung-Box. Além dos testes anteriores os resíduos também foram analisados sob a ótica da FAC e FACP.

A partir do modelo ajustado, utilizou-se a média da volatilidade passada para uma alternativa de aplicação da teoria das opções reais.

4.5. VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL

O VPL de um projeto é calculado a partir de um Fluxo de Caixa Descontado (FCD) do mesmo. Ele é obtido a partir da Equação 4 conforme Rezende & Oliveira (2009):

$$VPL_{trad} = \sum R_j(1+i)^{-j} - \sum C_j(1+i)^{-j} \quad (04)$$

onde: R_j = valor das receitas; C_j = valor dos custos; i = taxa mínima de atratividade, livre de risco; j = tempo em que cada custo ou receita ocorre.

A taxa mínima de atratividade considerada foi de 10%, um valor intermediário de rendimento entre a poupança e outros investimentos de maior risco.

4.6. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Para a aplicação da TOR e conseqüente cálculo do VPL expandido, primeiramente é calculado o VPL do projeto, conforme já explicitado anteriormente (Item 4.5.).

Após o cálculo do VPL, calcula-se a volatilidade do projeto, a qual é baseada no preço histórico da variável que mais interfere no mesmo. Seu cálculo é necessário para prever a valorização e desvalorização da variável de interesse, assim como a chance dela ocorrer.

Como a distribuição da variável preço é considerada lognormal, a variação do mesmo é corrigido utilizando a Equação 05.

$$x_i = \ln (pr_{x+1} / pr_x) \quad (05)$$

onde: x_i = i -ésima variação do preço; \ln = logaritmo neperiano; pr_x = preço em cada mês; pr_{x+1} = preço no mês seguinte em relação a pr .

A partir da variação, para obter a volatilidade do projeto e possibilitar a confecção da árvore de eventos, foi calculado o desvio padrão do preço aplicando a Equação 06. O valor obtido foi multiplicado por 100 para obter a volatilidade percentual.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (06)$$

onde: σ = volatilidade; x_i = i -ésima variação do preço; \bar{x} = média aritmética das variações dos preços; n = número de variações dos preços.

Para a análise da opção real escolhida será construída uma árvore binomial de eventos a partir de um modelo estocástico, até o tempo final do projeto. A Figura 6 exemplifica o comportamento da árvore binomial do ano 0 ao ano 2, porém o intervalo pode ser diferente.

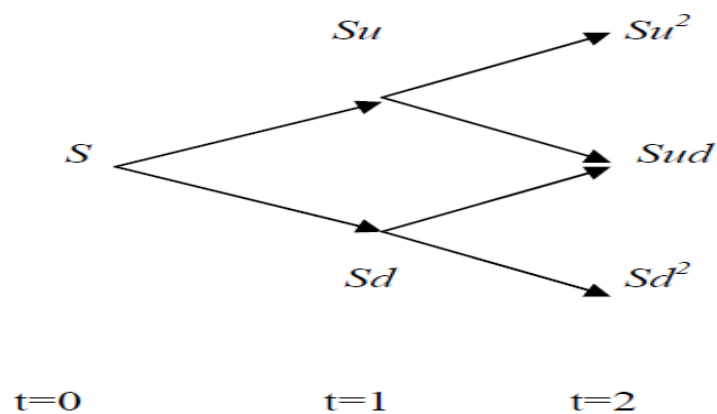


Figura 6.Árvore Binomial, adaptada de Brandão (2005).

O valor inicial S na Figura 6 será expresso pelo VPL tradicional do projeto. Os movimentos ascendentes (u) e descendentes (d) de S serão calculados a partir das Equações 07 e 08 conforme Cox, Ross & Rubinstein (1979).

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \text{ \& } d = \frac{1}{u} \quad (7) \text{ \& } (8)$$

onde: u = taxa contínua de crescimento do preço do ativo (movimento ascendente); d = taxa contínua de redução do preço do ativo (movimento descendente); σ = desvio padrão anual da taxa contínua de retorno do ativo; Δt = intervalo de tempo.

Para construir a árvore de eventos com flexibilidade será necessário, primeiramente, calcular a probabilidade neutra ao risco, representada, segundo Santos & Pamplona (2005), pela Equação 09.

$$q = \frac{(i - d)}{(u - d)} \quad (09)$$

onde: $i = 1 +$ taxa livre de risco; d = tamanho do movimento descendente; u = tamanho do movimento ascendente.

Com a probabilidade neutra ao risco calculada, iniciar-se-á a adição da flexibilidade ao projeto através da indução para trás dos nós nos últimos anos. A partir dos valores de VPL encontrados nos nós do último ano do projeto calcula-se o VPL flexível dos nós do ano anterior. Estes passos serão repetidos até chegar no ano 0, no qual é encontrado o VPL expandido. A Figura 7 ilustra como o processo funciona.

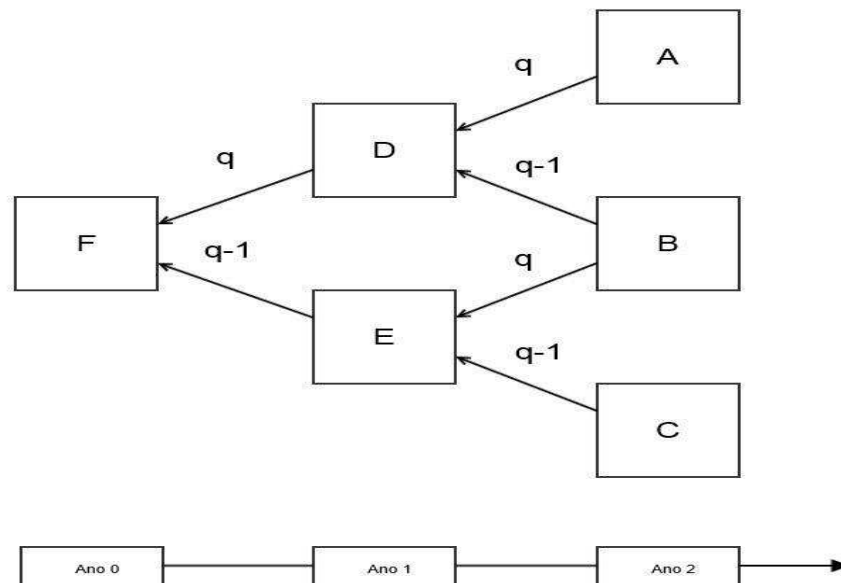


Figura 7. Processo de formação da árvore de eventos com flexibilidade (SANTOS & PAMPLONA, 2005)

Iniciar-se-á o processo calculando-se o valor do VPL nos nós do último ano, trazendo-os até o ano 0. Para o cálculo do VPL em cada nó é utilizada a Equação 10 conforme Santos & Pamplona (2005).

$$F_x = \frac{(qF_u) + (1 - q) \times F_d}{i} \quad (10)$$

onde: F_x = VPL do nó no ano x ; q = probabilidade neutra ao risco; F_u = VPL do nó ascendente no ano $(x+1)$ descontado investimento do ano $(x + 1)$ em valor presente; F_d = VPL do nó descendente no ano $(x+1)$ descontado investimento do ano $(x + 1)$ em valor presente; i = taxa livre de risco.

O valor de F_0 , normalmente denominado VPL expandido, será calculado a partir da Expressão 11. (SANTOS & PAMPLONA, 2005)

$$VPL_{exp} = VPL_{trad} + Valor da Opção \quad (11)$$

Finalmente comparar-se-ão os valores de cada nó com os valores definidos a partir do tipo de opção escolhida, esses valores diferem em cada intervalo, assim montar-se-á a árvore de decisões final.

Como explicitado anteriormente, os preços e a volatilidade obtidas através de diferentes métodos serão aplicados dentro da teoria das opções reais para observar se é possível obter resultados ainda mais acurados.

4.7. MÉTODO BOOTSTRAP

A volatilidade da série temporal através do método bootstrap foi calculada através da reamostragem da série de retornos de preços de resina de pinus. Inicialmente foi verificada a estacionariedade da série, sendo positiva a mesma foi reamostrada. A reamostragem foi feita utilizando o comando “tsbootstrap” do pacote “tseries”, criado por Trapletti e Hornik (2013). A reamostragem utilizada pode ser demonstrada pelo seguinte algoritmo:

- Inserção da série original;
- Criação de uma nova série do mesmo tamanho através da reamostragem da série original com reposição;
- Repete-se 1000 vezes o passo anterior;
- Cálculo do erro padrão da média;
- Cálculo do desvio padrão e conseqüente volatilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. METODOLOGIA BOX E JENKINS

O primeiro passo feito foi a verificação da estacionariedade das séries temporais originais. A verificação visual foi realizada através das Figuras 1 a 5 além do teste ADF, que foi aplicado nas cinco séries, sendo que os resultados de seus p-valores estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1. P-valores do teste ADF das séries originais considerando um nível de significância de 5%.

Série	P-valor teste ADF
Energia	0,673
Processo	0,3616
Tratamento	0,7
Serraria	0,09678
Resina Pinus	0,01*

As Figuras de 1 a 4 demonstram séries claramente não estacionárias, pois a tendência de queda (ou subida, se fosse o caso) caracteriza a não estacionariedade da série. Os p-valores do teste ADF dessas séries (Tabela 1) corroboram a observação visual das séries, pois aceita-se a hipótese inicial de raiz unitária. Com relação a série de preços de resina de pinus (Figura 5) não é possível inferir visualmente a estacionariedade da série. Com a incerteza visual, o teste forneceu a resposta para essa dúvida, a série é estacionária e possui características de um modelo ARMA, como a FAC e FACP dessa série demonstram (Figura 8).

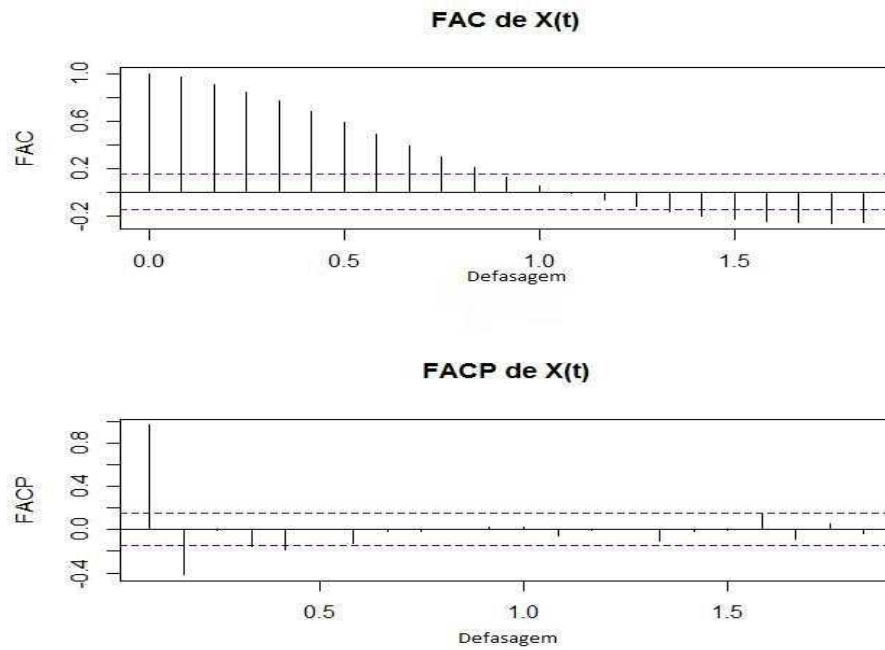


Figura 8. FAC e FACP da série original de preços de resina de pinus em reais.

Após a observação de séries não estacionárias, a primeira diferença das mesmas foi obtida e, conforme as Figuras 9 a 12, obteve-se séries estacionárias. O fato também foi confirmado pelo teste ADF dessas séries, cujos p-valores se encontram na Tabela 2, todos rejeitando a hipótese inicial de raiz unitária com um nível de significância menor que 5%.

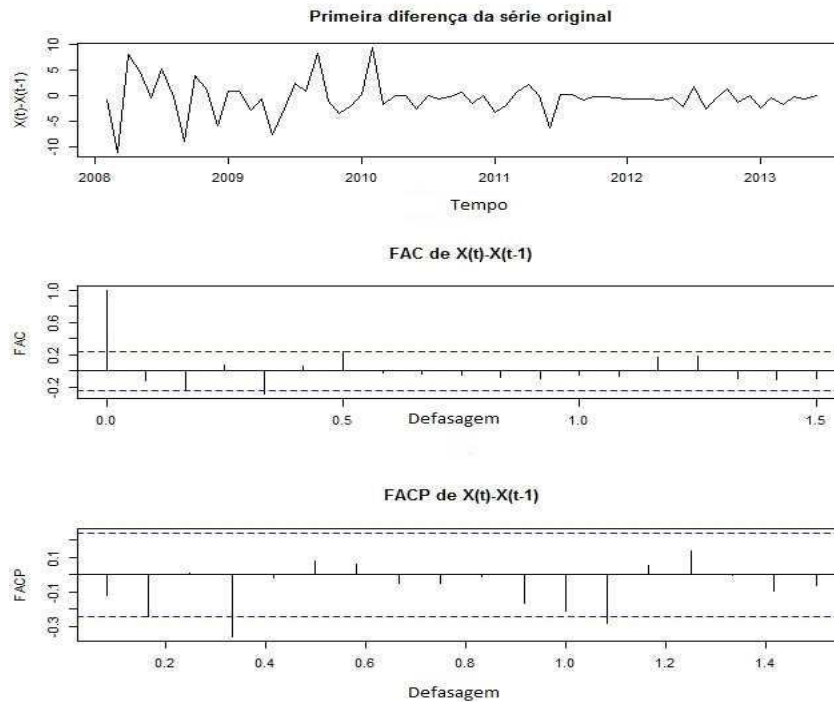


Figura 9. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para energia e suas respectivas FAC e FACP.

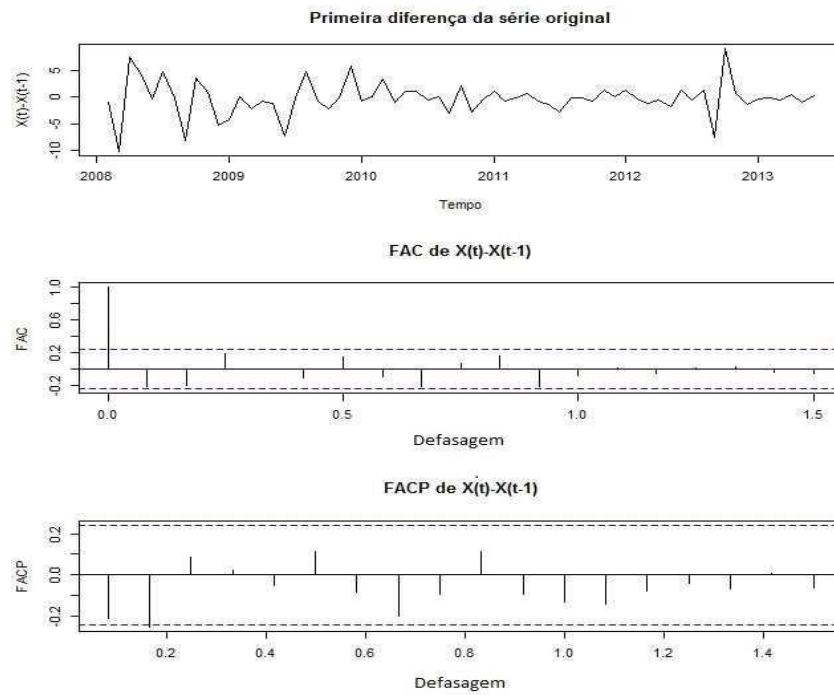


Figura 10. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para processo e suas respectivas FAC e FACP.

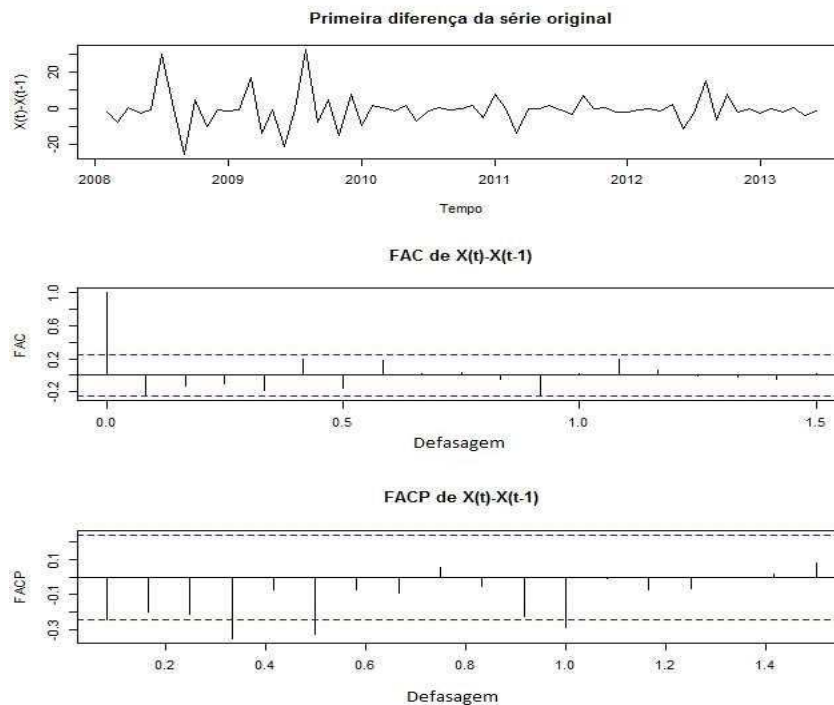


Figura 11. Primeira diferença da série original de preços em reais de madeira de eucalipto para serraria e suas respectivas FAC e FACP.

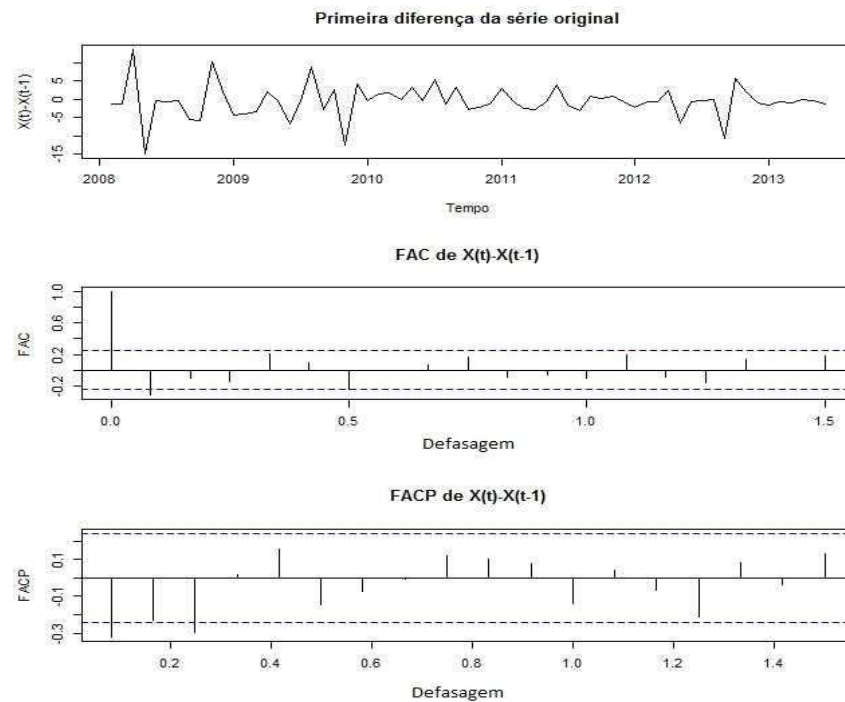


Figura 12. Primeira diferença da série original de preços em R\$ de madeira de eucalipto para tratamento e suas respectivas FAC e FACP.

Tabela 2. P-valores do teste ADF da primeira diferença das séries originais considerando um nível de significância de 5%.

Série	P-valor teste ADF
Energia	0,01*
Processo	0,024*
Tratamento	0,01*
Serraria	0,01*

A partir desses resultados foram testados diferentes modelos ARIMA para as séries de preço de eucalipto para diferentes destinos. Foi possível ajustar modelos simples para todas as séries, com exceção de uma. Para a série de preços de eucalipto para serraria nenhum modelo ARIMA apresentou resíduos com comportamento de ruído branco, ou seja, havia correlação entre os resíduos em algum lag de defasagem.

Para as séries que possibilitaram o ajuste dos modelos ARIMA seguiu-se o critério de menor AIC, significância dos parâmetros e formação de ruído branco dos resíduos dos modelo. Assim, nem sempre o modelo com menor AIC foi escolhido, pois ora possuía

nenhum parâmetro significativo e ora não possuía resíduos com comportamento de ruído branco.

Os modelos escolhidos com seus parâmetros e respectivos p-valores, além do valor dos seus AIC's estão contidos na Tabela 3. Nas Figuras 13 a 16 constam as FAC e FACP dos modelos escolhidos e nas Figuras 17 a 20 o teste Ljung-Box dos resíduos dos modelos.

Tabela 3. Informações sobre os modelos escolhidos

Série	Modelo	Variáveis	Coefficiente	p-valor	AIC
Energia	ARIMA(1,1,1)	ϕ_1	0,4808	0,085689593	342,52
		θ_1	-0,669	0,003237484	
		ϕ_1	-0,7711	<0,0001	
Processo	ARIMA(2,1,2)	ϕ_2	-0,9344	<0,0001	333,43
		θ_1	0,6453	<0,0001	
		θ_2	0,7324	<0,0001	
Tratamento	ARIMA(1,1,1)	ϕ_1	0,1077	0,629922106	375,73
		θ_1	-0,5045	0,004980183	
		ϕ_1	1,6063	<0,0001	
		ϕ_2	-0,6119	<0,001	
Resina de Pinus	ARIMA(2,0,4)	θ_1	-0,0594	0,755252067	2242,04
		θ_2	-0,2492	0,037436483	
		θ_3	-0,0107	0,879457675	
		θ_4	0,2681	<0,001	

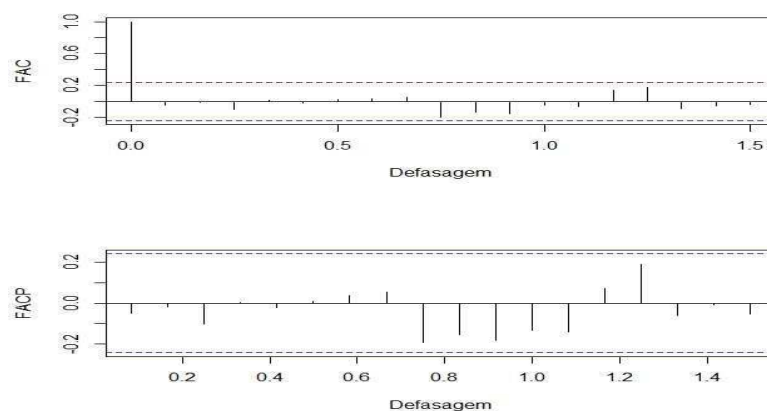


Figura 13. FAC e FAP do modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para energia.

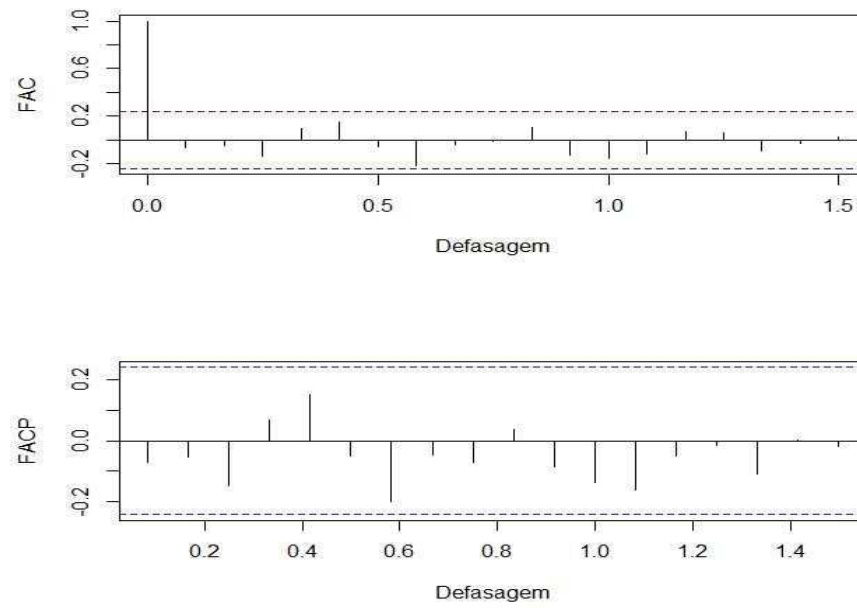


Figura 14. FAC e FAP do modelo ARIMA(2,1,2) para a série de preços em reais de eucalipto para processo.

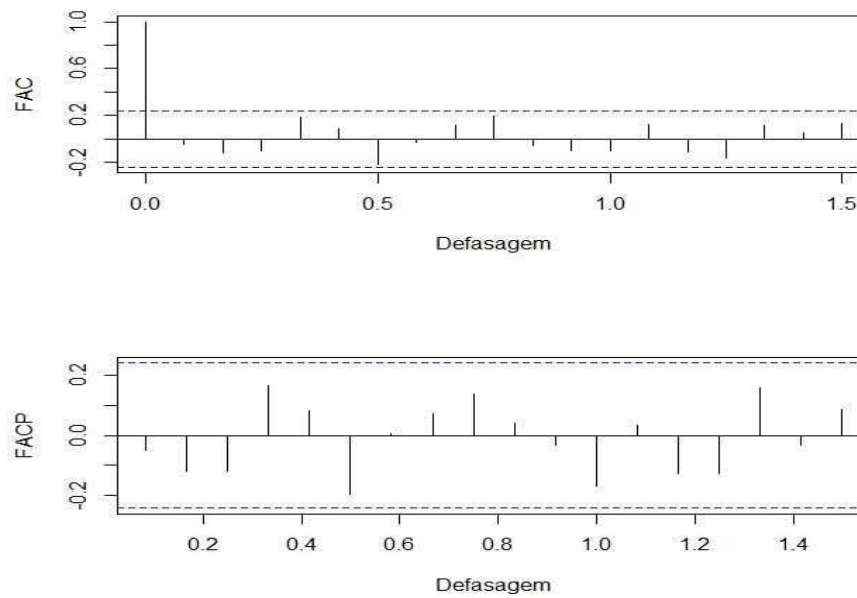


Figura 15. FAC e FAP do modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para tratamento.

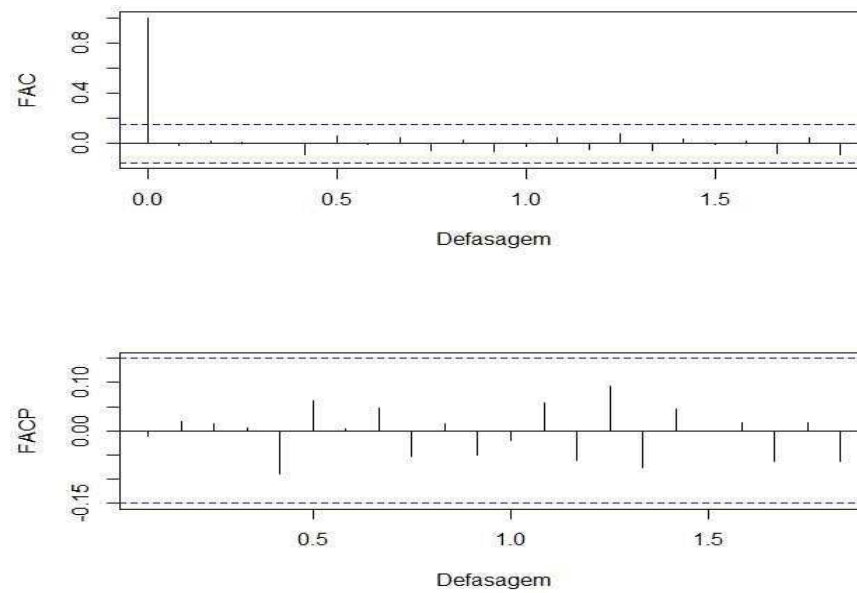


Figura 16. FAC e FACP do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de preços em reais de resina de pinus.

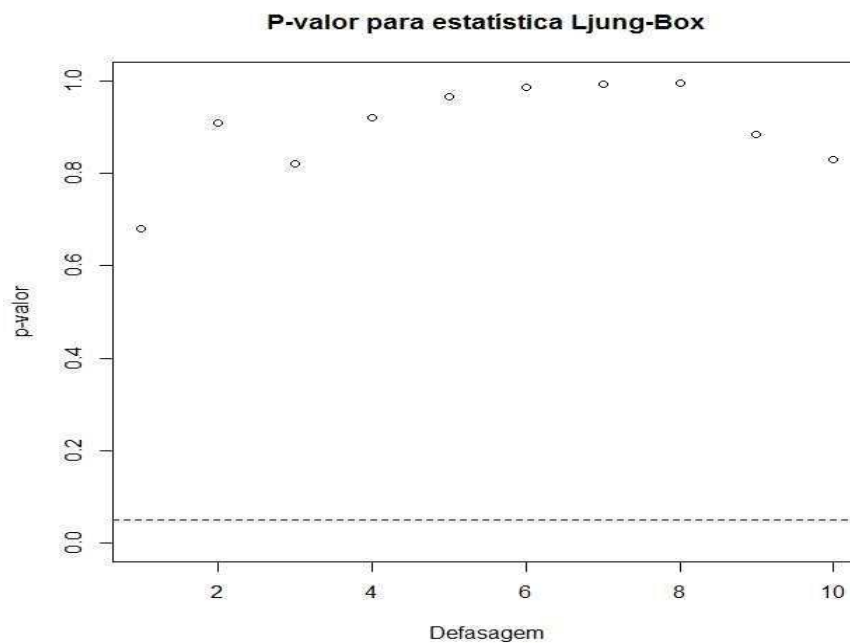


Figura 17. Teste Ljung-Box dos resíduos modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para energia.

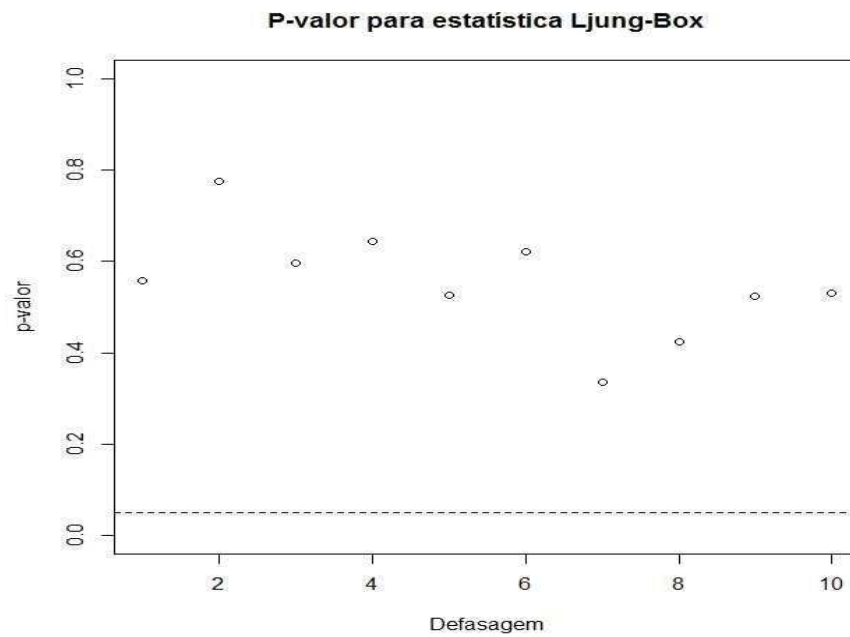


Figura 18. Teste Ljung-Box dos resíduos modelo ARIMA(2,1,2) para a série de preços em reais de eucalipto para processo.

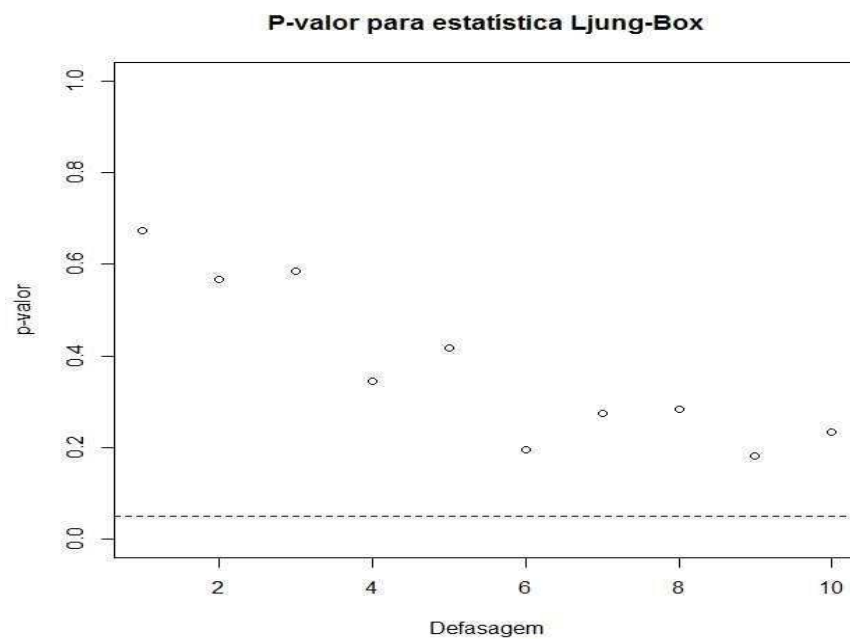


Figura 19. Teste Ljung-Box dos resíduos modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais de eucalipto para tratamento.

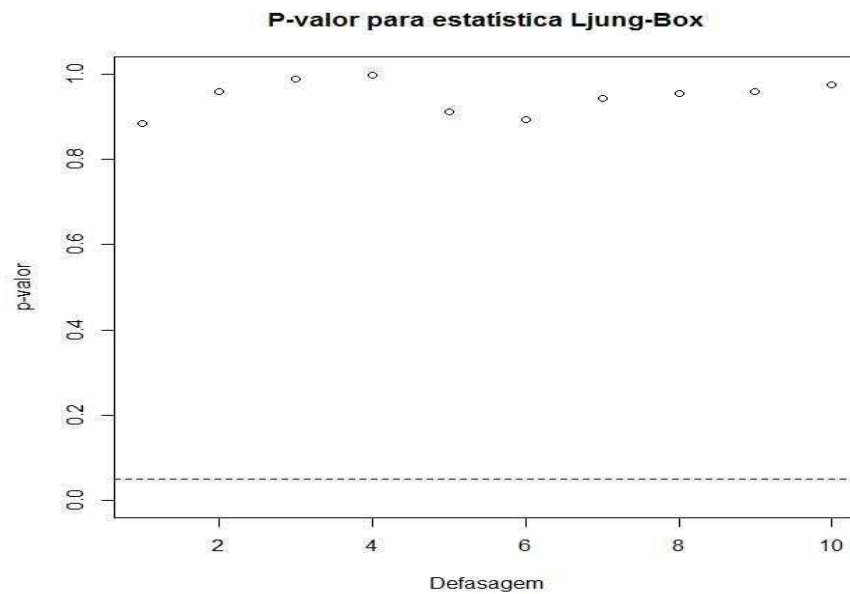


Figura 20. Teste Ljung-Box dos resíduos modelo ARIMA(2,0,4) para a série de preços em reais de resina de pinus.

A partir dos gráficos de FAC e FACP dos modelos (Figuras 13 a 16), em todos os casos foi possível observar que os resíduos se comportam como ruído branco. A partir do teste Ljung-Box de cada modelo foi possível ver que há não correlação entre os resíduos, pois a hipótese inicial do teste, a de que não há correlação entre os resíduos, foi aceita em todos os lags de defasagem. Após a escolha dos modelos e sua validação, as previsões foram feitas e comparadas com os valores reais. Os valores previstos, valores reais e o erro percentual da previsão de cada modelo estão expressos nas Tabelas 4 a 7.

Tabela 4. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais para madeira de eucalipto para energia.

Mês/Ano	Previsão	Valor Ocorrido	Erro percentual
jul/13	49,9226	50,1730	-0,50
ago/13	50,0683	49,6972	0,75
set/13	50,1384	49,5890	1,11
out/13	50,1721	49,5403	1,28
nov/13	50,1883	49,3086	1,78
dez/13	50,1961	49,1690	2,09

Tabela 5. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(2,1,2) para a série de preços em reais para madeira de eucalipto para processo.

Mês/Ano	Previsão	Valor Ocorrido	Erro percentual
jul/13	55,8987	56,1925	-0,52
ago/13	56,4931	56,1083	0,69
set/13	55,9274	56,0604	-0,24
out/13	55,8082	55,8163	-0,01
nov/13	56,4287	55,5552	1,57
dez/13	56,0616	55,2898	1,40

Tabela 6. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(1,1,1) para a série de preços em reais para madeira de eucalipto para tratamento.

Mês/Ano	Previsão	Valor Ocorrido	Erro percentual
jul/13	72,2662	69,8908	3,40
ago/13	72,3412	70,6958	2,33
set/13	72,3493	70,2241	3,03
out/13	72,3501	69,1325	4,65
nov/13	68,2830	68,8091	-0,76
dez/13	67,9500	68,5977	-0,94

Tabela 7. Resultados obtidos pelo modelo ARIMA(2,0,4) para a série de preços em reais para resina de pinus.

Mês/Ano	Previsão	Valor Ocorrido	Erro percentual
abr/15	2976,4810	2924,7700	1,77
mai/15	2956,6490	2863,8110	3,24
jun/15	2919,1710	2826,7600	3,27
jul/15	2894,3700	2823,5690	2,51
ago/15	2863,0400	2837,9950	0,88
set/15	2827,8890	2846,0000	-0,64

Observando os resultados nas Tabelas 4 a 7 percebe-se que as previsões foram satisfatórias para os preços dos produtos estudados a partir de modelos encontrados. O maior

erro observado foi de 4,65%, que comparado a outros trabalhos pode ser considerado baixo. No trabalho de Cordeiro (2010) para a previsão de preços de pinus foram encontrados erros de até 26%, assim como Soares (2010) que fez previsões com erros de até 19%.

Por fim, para previsões a curto prazo de séries de preço de madeira de eucalipto e resina de pinus, os modelos da metodologia de Box e Jenkins foram adequados e podem ajudar nas tomadas de decisões de curto prazo, como postergar ou não uma colheita e armazenar a resina de pinus.

4.2. MODELO DE HETEROCEDASTICIDADE CONDICIONAL

Analisando a série histórica dos preços de resina desde 2001 pode-se notar uma alta volatilidade, que mensurada de forma tradicional, o desvio padrão de sua variação mensal, chega-se a um valor de 6,47%. Essa volatilidade pôde ser calculada de uma forma alternativa, através de um modelo de heterocedasticidade condicional.

O primeiro passo foi a transformação da série original do preço de resina em uma série de retornos (Figura 21) e a observação da presença de um modelo ARIMA através da FAC e FACP (Figura 21).

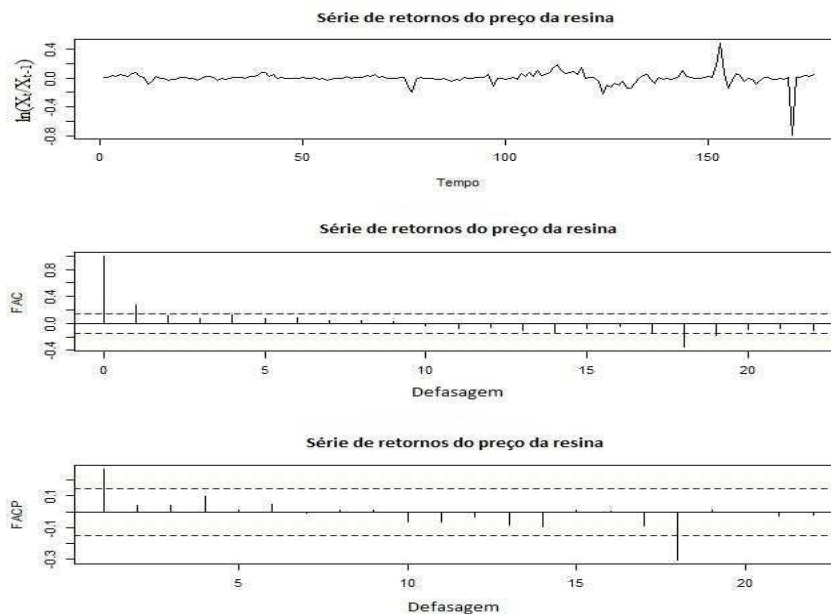


Figura 21. Série de retornos de preço em reais de resina pinus e suas respectivas FAC e FACP.

Observando a série de retornos e a FAC é possível supor estacionariedade da série, pois não observa-se tendência na mesma. Também é possível perceber a presença de modelos ARIMA através da observação da FAC e FACP. A estacionariedade da série foi confirmada

através do teste ADF, cujo p-valor foi menor que 0,01, rejeitando a hipótese inicial de presença de raiz unitária.

Confirmada a estacionariedade da série de retornos, ajustou-se um modelo ARIMA(2,0,4) pois modelos com menos parâmetros não eliminaram a autocorrelação entre os resíduos, ou seja o erro no presente estava sendo influenciado pelos anteriores. Porém através da Figura 22 observa-se através da FAC que os resíduos do modelo não se comportam como ruído branco, ou seja, possuem resquícios de modelos GARCH em sua estrutura, contudo eliminaram a correlação dos resíduos, confirmado através do teste de Ljung-Box.

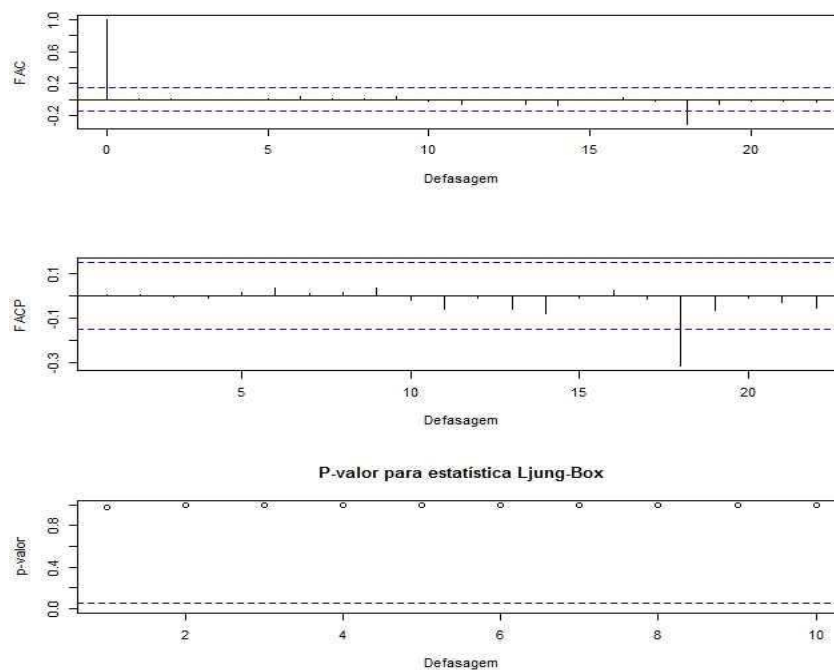


Figura 22. Análise dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais da resina de pinus.

Definido o modelo, foram analisadas as FAC e FACP dos quadrados dos resíduos para a verificação de efeitos ARCH/GARCH, o que foi constatado através da Figura 23, pois houve correlação em alguns lags de defasagem.

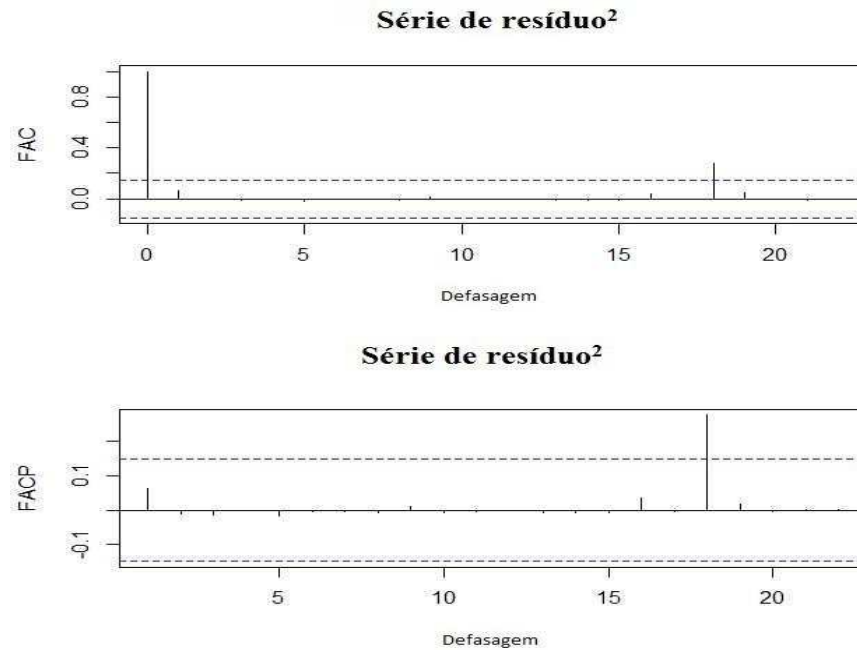


Figura 23. Análise do quadrado dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais da resina de pinus.

Como houve presença de efeitos de modelos ARCH/GARCH ajustaram-se quatro modelos GARCH(1,0), GARCH(2,0), GARCH(2,1) e GARCH(2,2). Os três primeiros modelos não forneceram os erros dos parâmetros, pois não foi possível ajustá-los, assim não puderam ser aplicados. O modelo GARCH(2,2) gerou como saída uma série com os desvios padrões da série, com a média desses valores, obteve-se a volatilidade da série, 5,72%.

Uma diferença de 0,72% entre o valor tradicional e o ajustado pelo modelo GARCH(2,2) pode parecer pequena, porém esse valor é mensal. Uma taxa de 0,72% a.m. acumulado ao longo de 10 anos pode significar uma diferença de até 67,62% na avaliação de um projeto. Assim, é preferível analisar a viabilidade econômica de um projeto utilizando uma taxa oriunda de um método mais elaborado.

Como observado na série de preços de resina, a volatilidade da série de preços de eucalipto para processos (escolhida por ser um dos principais destinos da madeira de eucalipto no estado de São Paulo) calculada de forma tradicional apresentou um valor de 4,65% ao mês. Valor que pode aparentar ser baixo, mas que acumulado em um ano pode representar aproximadamente 77%. Assim torna-se interessante o cálculo de sua volatilidade através de uma forma mais precisa, como o modelo de heterocedasticidade condicional.

Assim como na série de retornos do preço de resina, através da FAC é possível supor estacionariedade da série, pois não observa-se tendência na mesma. Também é possível perceber a presença de modelos ARIMA através da observação da FAC e FACP, como

observado na Figura 24. A estacionariedade da série também foi confirmada através do teste ADF, cujo p-valor calculado foi igual a 0,021, rejeitando a hipótese inicial de presença de raiz unitária.

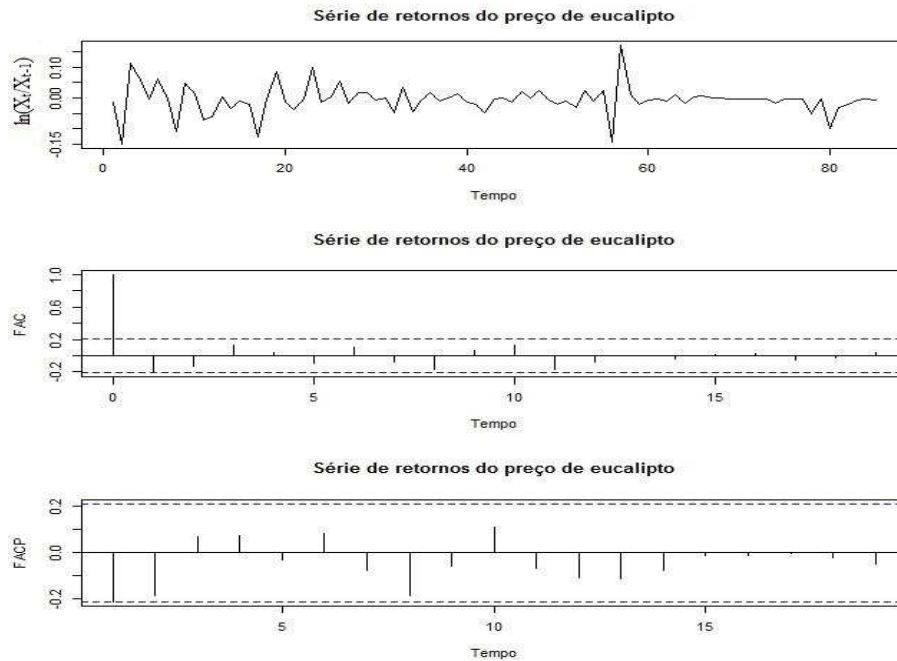


Figura 24. Série de retornos de preço em reais de madeira de eucalipto para processo e suas respectivas FAC e FACP.

Confirmada a estacionariedade da série de retornos do preço de madeira de eucalipto para processos, também foi necessário ajustar um modelo ARIMA(2,0,4) pois modelos com menos parâmetros não eliminaram a autocorrelação entre os resíduos. A confirmação disso pode ser feita através da Figura 25, na qual observa-se através da FAC que os resíduos do modelo se comportam como ruído branco e que não possuem correlação através do teste de Ljung-Box. Contudo, mesmo os resíduos do modelo se comportando como ruído branco, analisando seus quadrados pode-se observar uma pequena presença de efeitos de modelos ARCH/GARCH, como observado na Figura 26.

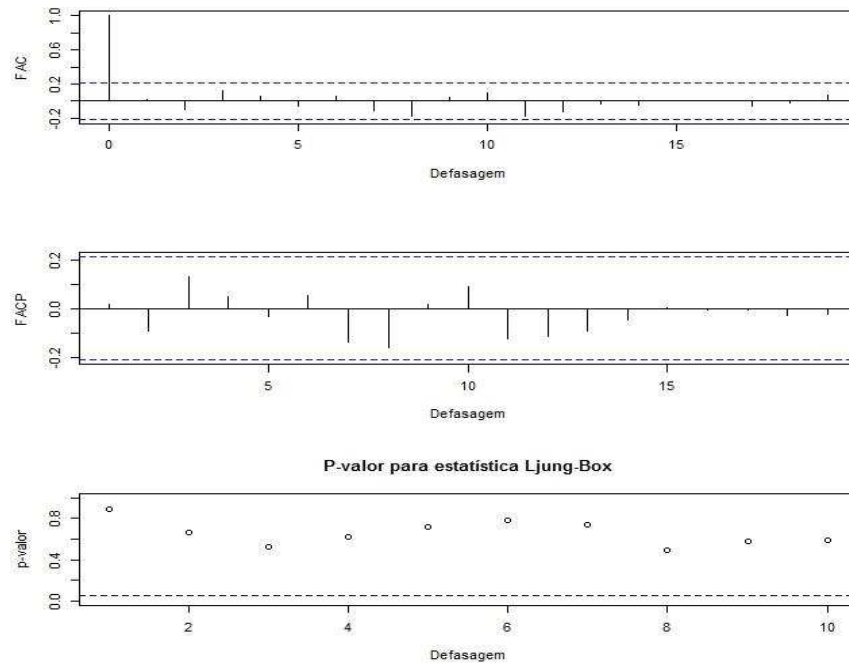


Figura 25. Análise dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais de madeira de eucalipto para processo.

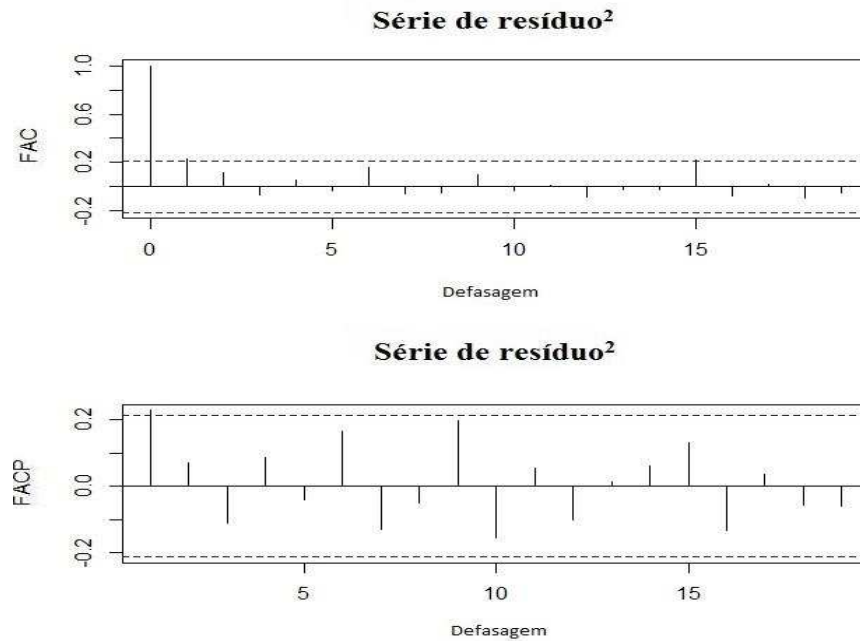


Figura 26. Análise do quadrado dos resíduos do modelo ARIMA(2,0,4) para a série de retornos do preço em reais de madeira de eucalipto para processo.

Após a observação de seus efeitos foram ajustados quatro modelos GARCH: GARCH(1,0), GARCH(2,0), GARCH(1,1), GARCH(2,2). Apenas o primeiro modelo não

apresentou erros, assim o mesmo foi descartado. Porém apenas o modelo GARCH(1,1) apresentou os coeficientes significativos, o modelo apresentou uma volatilidade igual a 4,28% ao mês.

A diferença de 0,37% ao mês encontrada entre os dois métodos pode parecer ínfima, porém acumulada dentro de 7 anos pode significar aproximadamente 36% de diferença. O valor acumulado ainda é menor do que a queda de 45,3% no preço observada desde Julho de 2008 até a data de valoração do projeto. Isso mostra a importância de se calcular a volatilidade de diferentes formas e sua aplicação na análise de viabilidade de um projeto, pois movimentos de valores considerados pequenos dentro de uma curta escala de tempo podem se acumular em grandes diferenças ao longo de todo projeto.

4.3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO – VPL

Para a elaboração do fluxo de caixa do projeto de exploração de uma área produtora de resina de *Pinus elliotti* considerou-se o primeiro cenário do item 4.2. (Cenários). A exploração foi iniciada em 2015, todos os custos do empreendimento iniciado em 2007 foram corrigidos pelo IPCA. Somente os custos foram corrigidos pois a área não gerou receita até o ano de 2014. Os custos podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8. Custos de implantação de uma floresta produtora de resina pinus durante 8 anos.

Ano	Custos (R\$)		Valor Corrigido
2007	R\$	300.000,00	R\$ 416.400,00
2008	R\$	24.000,00	R\$ 31.893,60
2009	R\$	24.000,00	R\$ 30.494,40
2010	R\$	24.000,00	R\$ 28.934,40
2011	R\$	60.000,00	R\$ 68.796,00
2012	R\$	24.000,00	R\$ 26.484,00
2013	R\$	24.000,00	R\$ 25.068,00
2014	R\$	84.000,00	R\$ 84.000,00
Total			R\$ 712.070,40

Algumas observações sobre os custos:

-Em 2007, com o valor de R\$300000,00 a área foi adquirida e todos os custos de implantação da floresta foram cobertos.

-Nos anos de 2008 a 2010, 2012 e 2013 os custos foram relacionados a um funcionário e despesas fixas.

-Nos anos de 2011 e 2014 os valores correspondem às despesas fixas e à aquisição de dois tratores, um em cada ano.

A partir dos custos corrigidos iniciou-se a montagem do fluxo de caixa descontado do empreendimento com um déficit inicial de R\$ 712.070,40. Na Tabela 9 é possível observar o fluxo de caixa descontado da área produtora de resina de pinus, que foi construído seguindo algumas observações:

-O custo de produção por tonelada de resina foi obtido através da média de produtores da região no ano de 2014, considerando mão de obra e implementos. Ele foi fixado em R\$1000,00/ton.;

-O valor da tonelada da resina foi de R\$3000,00, referente ao mês de janeiro de 2015.

- Os valores foram corrigidos considerando uma taxa de 10% ao ano.

Tabela 9. Valor Presente Líquido da área produtora de resina de pinus considerando uma taxa de 10% ao ano.

Ano	Custos (R\$)		Receitas (R\$)		VPL Custos (R\$)	VPL Receitas (R\$)
0	R\$	712.070,40	R\$	-		
1	R\$	240.000,00	R\$	720.000,00	-R\$ 218.181,82	R\$ 654.545,45
2	R\$	235.200,00	R\$	705.600,00	-R\$ 194.380,17	R\$ 583.140,50
3	R\$	230.496,00	R\$	691.488,00	-R\$ 173.175,06	R\$ 519.525,17
4	R\$	225.886,08	R\$	677.658,24	-R\$ 154.283,23	R\$ 462.849,70
5	R\$	221.368,36	R\$	664.105,08	-R\$ 137.452,33	R\$ 412.357,00
6	R\$	216.940,99	R\$	650.822,97	-R\$ 122.457,53	R\$ 367.372,60
7	R\$	212.602,17	R\$	637.806,51	-R\$ 109.098,53	R\$ 327.295,59
8	R\$	208.350,13	R\$	625.050,38	-R\$ 97.196,87	R\$ 291.590,62
9	R\$	204.183,13	R\$	612.549,38	-R\$ 86.593,58	R\$ 259.780,73
10	R\$	200.099,46	R\$	600.298,39	-R\$ 77.147,01	R\$ 231.441,02
Total					-R\$ 2.082.036,52	R\$ 4.109.898,37
					VPL Projeto	R\$ 2.027.861,85

Observando o VPL do projeto aceita-se facilmente a implantação do empreendimento e o uso da floresta como fonte produtora de resina, tendo em vista o valor investido inicialmente. Outras formas de valorar o projeto pode ser testada para confirmar essa viabilidade e confrontar o parecer obtido com essa tradicional metodologia.

Considerando o segundo cenário do item 4.2., construiu-se um fluxo de caixa descontado para a implantação de uma floresta de eucalipto para fabricação de celulose. Esse fluxo de caixa seguiu algumas premissas:

- Os custos totais de implantação, de manutenção no ano 1 e manutenção nos anos 2 ao 6 foram fixados em R\$2885,00/ha, R\$661,00/ha e R\$38,00/ha respectivamente (BARBOSA et al, 2015). Barbosa (2015) levantou os custos das atividades básicas silviculturais, no presente trabalho desconsiderou-se o custo da terra pois com a mesma sendo hipoteticamente adquirida no ano de 2007, sua valorização compensou o seu custo;
- O custo da colheita foi fixado em R\$5,50/m³ (LEITE, 2015);
- Considerou-se um Incremento Médio Anual de 50m³/ha, encontrado em média com os produtores da região.
- O preço de venda do metro cúbico de madeira de eucalipto para processo foi de R\$43,00 levando em consideração o mês e fevereiro de 2015 segundo o IEA.

A partir das premissas anteriores montou-se o FCD apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Valor Presente Líquido de uma floresta de eucalipto para produção de celulose considerando uma taxa de 10% ao ano.

Ano	Custos (R\$)		Receitas (R\$)		VPL Custos (R\$)	VPL Receitas (R\$)
0	R\$	144.250,00	R\$	-		
1	R\$	33.050,00	R\$	-	-R\$ 30.045,45	R\$ 0,00
2	R\$	1.900,00	R\$	-	-R\$ 1.570,25	R\$ 0,00
3	R\$	1.900,00	R\$	-	-R\$ 1.427,50	R\$ 0,00
4	R\$	1.900,00	R\$	-	-R\$ 1.297,73	R\$ 0,00
5	R\$	1.900,00	R\$	-	-R\$ 1.179,75	R\$ 0,00
6	R\$	1.900,00	R\$	-	-R\$ 1.072,50	R\$ 0,00
7	R\$	96.250,00	R\$	752.500,00	-R\$ 49.391,47	R\$ 386.151,48
Total					-R\$ 230.234,65	R\$ 386.151,48
					VPL Projeto	R\$ 155.916,84

Assim como no projeto de uma floresta produtora de resina de pinus, observando o VPL do projeto aceita-se a implantação do empreendimento, tendo em vista o valor investido inicialmente. Outra forma de valorar o projeto também pode ser testada nesse caso para confirmar essa viabilidade e confrontar com o parecer obtido por essa metodologia.

4.4. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Considerando o mesmo projeto analisado através da ótica do Valor Presente Líquido, iniciou-se uma abordagem através da teoria das opções reais. O preço que possui maior influência na viabilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* é o da resina de pinus, assim, a volatilidade do projeto depende da volatilidade do preço desse ativo. A volatilidade do preço de resina de pinus teve um valor de **6,47%**.

Inicialmente, essa volatilidade pode ser considerada baixa, porém é um valor mensal, se acumulado durante um ano em uma tendência de movimento de subida pode duplicar o valor nesse período.

De posse da volatilidade foi possível iniciar a construção da árvore de eventos sem flexibilidade do projeto. Para isso calculou-se o tamanho dos movimentos ascendentes e descendentes que são dados por cada nó durante o tempo de duração do empreendimento. Os valores, obtidos foram $u = 1,2512$ e $d = 0,7992$. Valores os quais foram anualizados conforme a metodologia. Como o projeto tem tempo anual e a volatilidade mensal, apenas multiplicou-se pela raiz de 12 no cálculo do movimento ascendente.

A árvore de eventos sem flexibilidade pode ser observada na Figura 27.

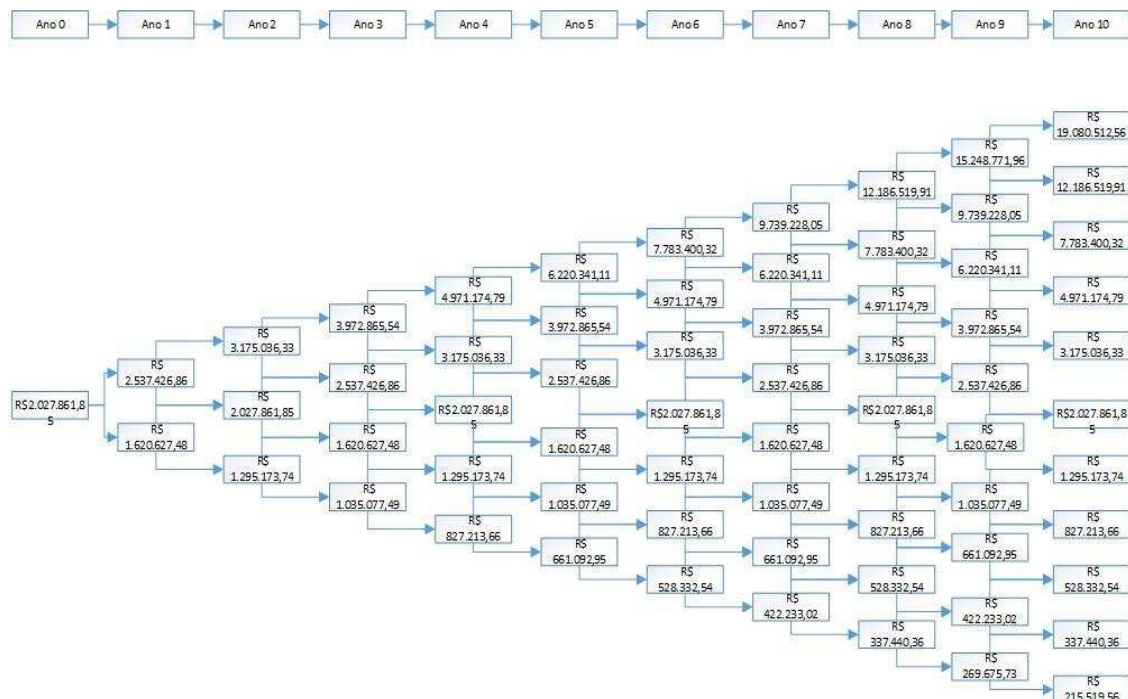


Figura 27.Árvore de eventos sem flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti*.

A árvore de eventos sem flexibilidade acaba não tendo muita utilidade para análise do projeto. Ela é útil para saber como podem se comportar os valores de VPL tradicional ao longo dos anos, sendo que, os panoramas encontrados nos extremos superior e inferior possuem chances remotas de ocorrer. A árvore de eventos sem flexibilidade é utilizada para a criação da mesma com a flexibilidade embutida. Para isto obteve-se a probabilidade neutra ao risco a qual foi $q = 0,75$.

A probabilidade neutra ao risco foi utilizada para embutir a flexibilidade ao projeto e trazer os valores encontrados nos nós do último ano do projeto para o ano 0 e assim obter o VPL expandido, que é o valor encontrado no primeiro nó da árvore de eventos com flexibilidade, a qual pode ser observada na Figura 28.

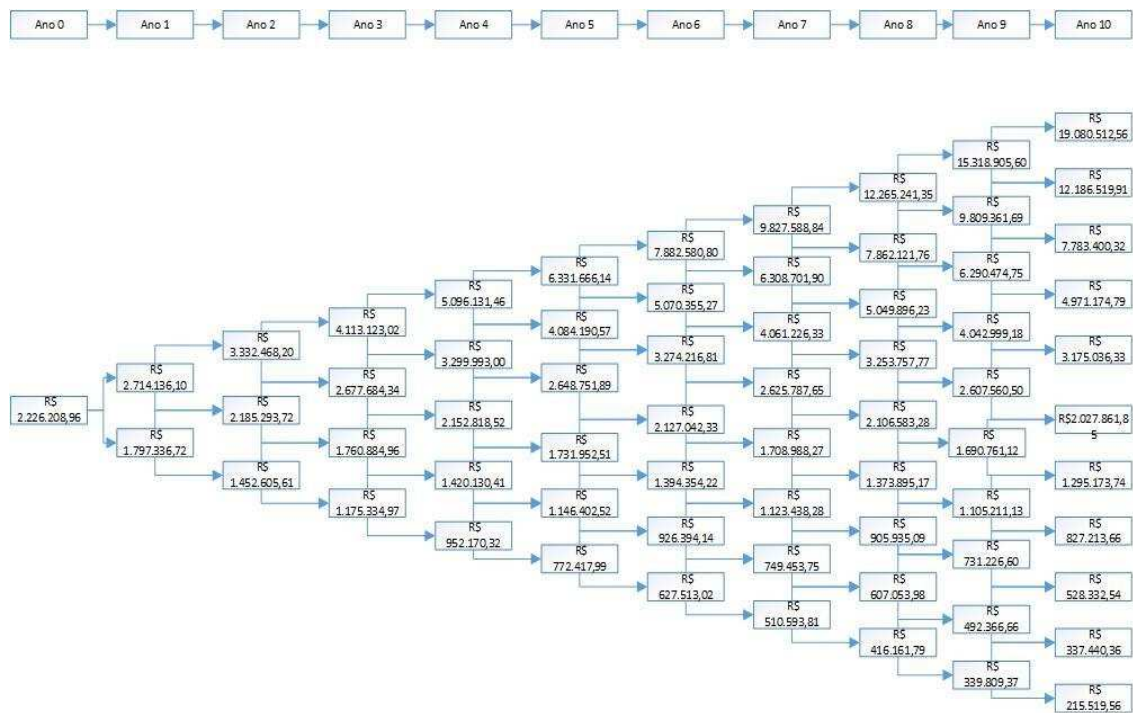


Figura 28. Árvore de eventos com flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti*.

O valor encontrado para o VPL expandido foi de R\$ 2.226.208,96. Este resultado foi superior em 9,78% ao valor encontrado através da metodologia tradicional, fato que corrobora com a teoria de que o VPL tradicional subestima o valor do projeto final do projeto (TRIGEROGIS, 1996). A partir do VPL expandido e do tradicional obteve-se o valor da opção de abandono igual a **R\$ 198.347,11**.

A árvore de decisões, calculada através da comparação dos valores dos nós de cada ano com os valores de abandono do projeto no mesmo ano pode ser observada na Figura 29. Os valores de abandono do projeto foram obtidos de forma simples, consiste em 80% dos custos

somados até o ano em questão, eles podem ser observados na Tabela 11. Foi considerado um valor de 80% dos custos, pois 20% foi o prejuízo máximo admitido.

Tabela 11. Valores de abandono do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti*.

Ano	Valor de Venda
0	R\$ 569.656,32
1	R\$ 761.656,32
2	R\$ 949.816,32
3	R\$ 1.134.213,12
4	R\$ 1.314.921,98
5	R\$ 1.492.016,67
6	R\$ 1.665.569,46
7	R\$ 1.835.651,20
8	R\$ 2.002.331,30
9	R\$ 2.165.677,80
10	-

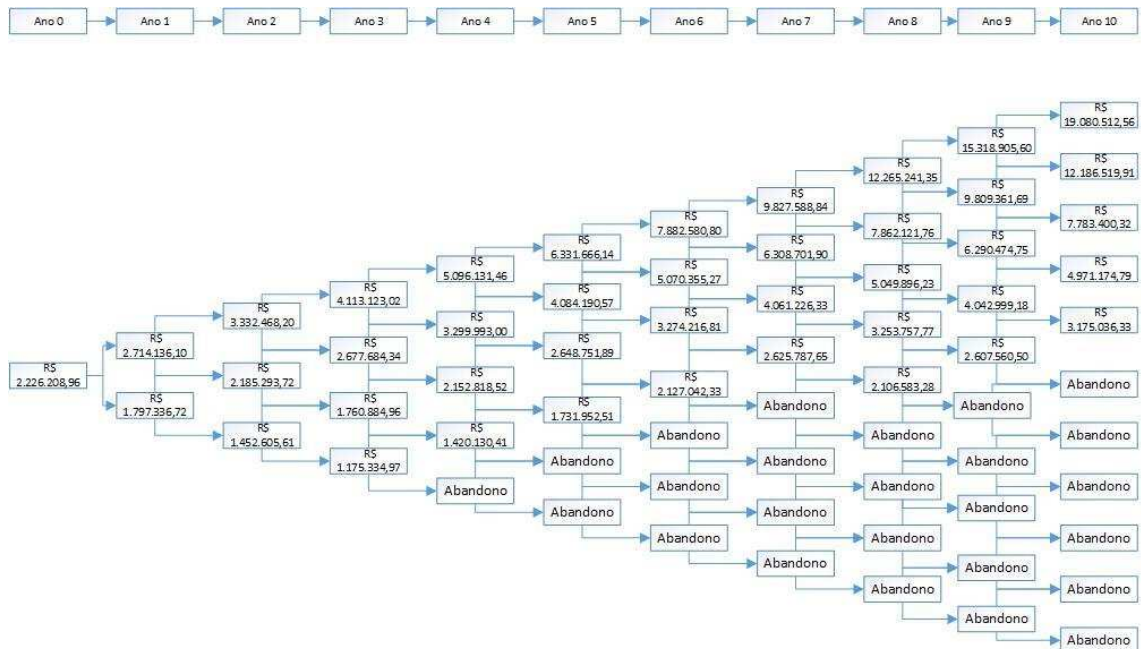


Figura 29. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti*.

Observado a árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* (Figura 29), duas considerações podem ser feitas a respeito da mesma:

- O fato de encontrar um valor menor que o último nó a não ser abandonado no ano não obriga o abandono do projeto, pois ele pode estar entre o mesmo e o valor do nó abaixo que sugere o abandono do projeto;

- 25 dos 66 nós indicaram abandono, assim aproximadamente 38% das situações levam ao abandono do projeto, entretanto as opções de abandono se iniciam apenas a partir do ano 4, assim, nos primeiros anos espera-se retorno.

Continuando com a aplicação da teoria das opções reais, ela também foi aplicada para o projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp com destinação da sua madeira para processos. O fluxo de caixa utilizado foi o mostrado anteriormente (Tabela 10), sendo obtido um VPL de R\$ 155.916,84. A variável mais impactante na análise de viabilidade do projeto é o preço da madeira de eucalipto, a sua volatilidade calculada através da metodologia tradicional foi de 4,65% ao mês. Volatilidade a qual se acumulada durante um ano em uma tendência de movimento único pode significar uma subida ou queda de aproximadamente 72%, o que seria crítico para um projeto.

De posse dessa volatilidade iniciou-se a construção da árvore de eventos sem flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp. Para isso calculou-se o tamanho dos movimentos ascendentes e descendentes. Os valores, obtidos foram $u = 1,1747$ e $d = 0,8512$. Valores os quais foram anualizados conforme a metodologia. Como o projeto também tem tempo anual e a volatilidade encontrada é mensal, apenas multiplicou-se pela raiz de 12 no cálculo do movimento ascendente.

Assim como no projeto anterior, a árvore de eventos sem flexibilidade acaba não tendo muita utilidade para análise do projeto. Ela continua sendo útil para saber como podem se comportar os valores de VPL tradicional ao longo dos anos, sendo que, os panoramas encontrados nos extremos superior e inferior possuem chances remotas de ocorrer. Como a árvore de eventos com a flexibilidade embutida é baseada na anterior obteve-se a probabilidade neutra ao risco, a qual foi $q = 0,7689$.

A probabilidade neutra ao risco foi utilizada para embutir a flexibilidade ao outro projeto e trazer os valores encontrados nos nós do último ano do projeto para o ano 0 e assim obter o VPL expandido, que é o valor encontrado no primeiro nó da árvore de eventos com flexibilidade, a qual pode ser observada na Figura 30.

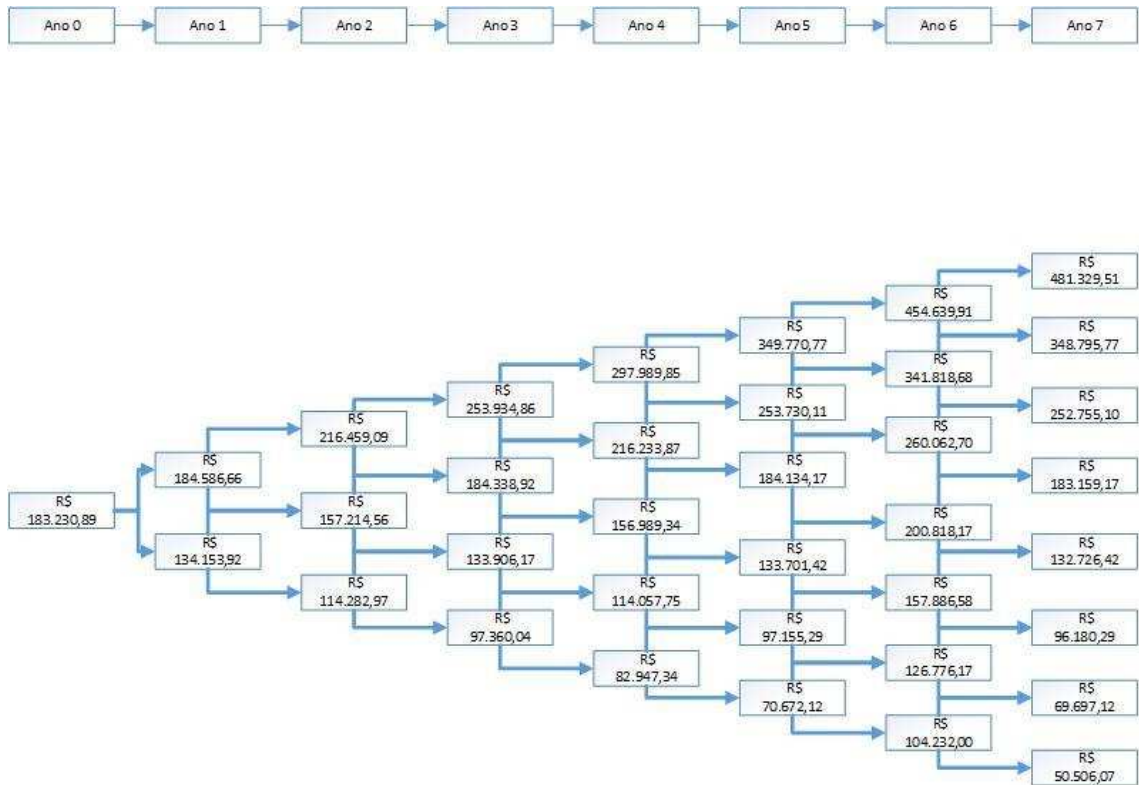


Figura 30. Árvore de eventos com flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp.

O valor encontrado para o VPL expandido desse projeto foi de R\$183.230,89. Este resultado foi superior em 17,51% ao valor encontrado através da metodologia tradicional, fato que, como no projeto anterior, também corrobora com a teoria de que o VPL tradicional subestima o valor do projeto final do projeto. A partir do VPL expandido e do tradicional obteve-se o valor da opção de abandono igual a **R\$27.314,05**.

A árvore de decisões desse projeto também foi calculada através da comparação dos valores dos nós de cada ano com os valores de abandono do projeto no mesmo ano pode ser observada na Figura 31. Os valores de abando desse projeto também foram 80% da soma dos custos até o ano em questão, com exceção do último ano em que o valor de venda foi o custo da colheita. Os valores podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12. Valores de abandono do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp.

Ano	Valor de Venda
0	R\$ 115.400,00
1	R\$ 141.840,00
2	R\$ 143.360,00
3	R\$ 144.880,00
4	R\$ 146.400,00
5	R\$ 147.920,00
6	R\$ 149.440,00
7	R\$ 96.250,00

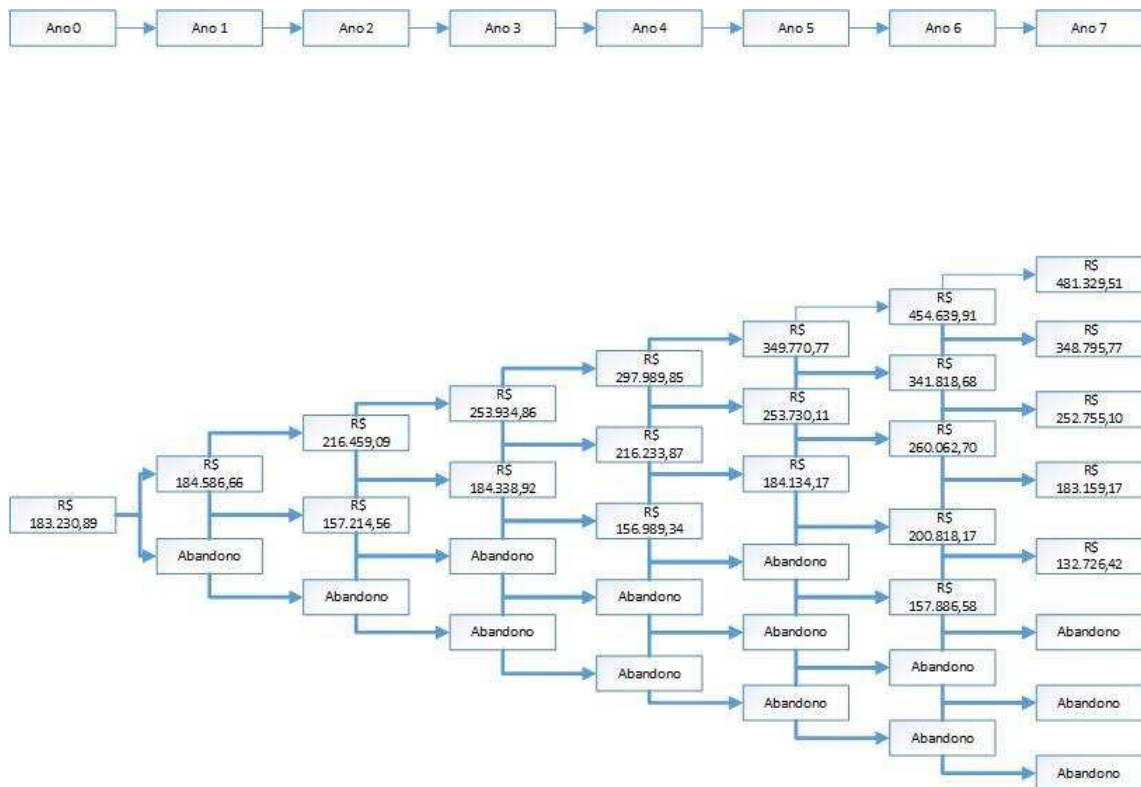


Figura 31. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp.

A partir da observação da árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp, como no projeto anterior também podem ser feitas duas observações:

- O fato de encontrar um valor menor que o último nó a não ser abandonado no ano não obriga o abandono do projeto, pois ele pode estar entre o mesmo e o valor do nó abaixo que sugere o abandono do projeto;

- 14 dos 36 nós indicaram abandono, assim aproximadamente 39% das situações levam ao abandono do projeto.

Por fim, a teoria das opções reais mostrou-se uma boa alternativa para analisar a viabilidade econômica de projetos florestais, oferecendo uma maior visão das possibilidades de acontecimento. A teoria acaba possibilitando uma abordagem mais ampla que a binária, viável ou não, além da corroboração com a teoria de que a metodologia tradicional subestima o valor do projeto.

4.5. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS – ABORDAGENS ALTERNATIVAS

4.5.1. Teoria das Opções Reais – Volatilidade a Partir de um Modelo de Heterocedasticidade Condicional

Considerando-se a forma tradicional na teoria das opções reais de se obter a volatilidade do ativo de maior impacto num projeto como demasiadamente simples e, possivelmente, não tão fiel, propôs-se uma alternativa para mensuração da mesma: a partir de um modelo de heterocedasticidade condicional.

Considerando o mesmo fluxo de caixa (Tabela 9) e projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* e utilizando a volatilidade obtida com o ajuste de um modelo de heterocedasticidade condicional aplicou-se a TOR. Como já visto, para a série de preço de resina de pinus o modelo GARCH(2,2) forneceu uma volatilidade de 5,72% ao mês, um valor considerado alto por ser mensal. Para fins de comparação, a taxa mensal encontrada atualmente por um investimento de baixo risco não ultrapassa 1% a.m.

A partir da volatilidade iniciou-se a construção de uma nova árvore de eventos sem flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti*. Para isso calculou-se os novos tamanhos dos movimentos ascendentes e descendentes. Os valores, obtidos foram $u = 1,2191$ e $d = 0,8202$. Valores os quais também foram anualizados conforme a metodologia. A nova árvore de eventos sem flexibilidade pode ser observada na Figura 32.

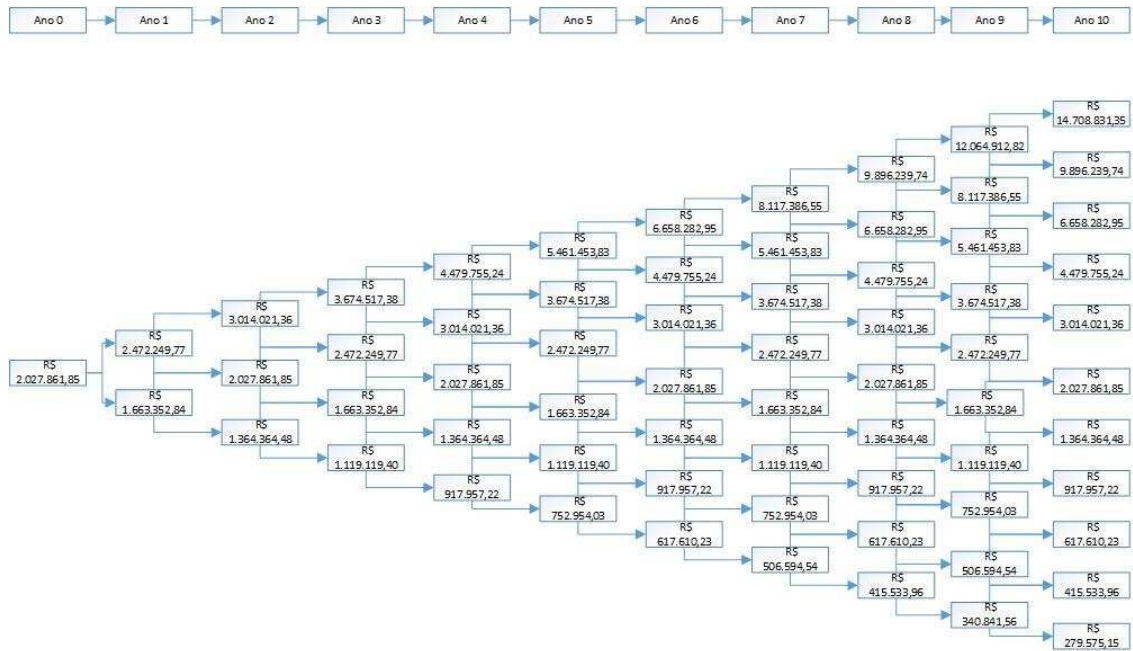


Figura 32. Árvore de eventos sem flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional.

Conforme já explicado, a árvore de eventos sem flexibilidade acaba não tendo muita utilidade para análise do projeto. Como a árvore de eventos com a flexibilidade embutida é baseada na anterior obteve-se a probabilidade neutra ao risco, a qual foi $q = 0,713$.

A probabilidade neutra ao risco foi utilizada para embutir a flexibilidade ao projeto e trazer os valores encontrados nos nós do último ano do projeto para o ano 0 e assim obter o VPL expandido. VPL expandido que é o mesmo valor encontrado na forma anterior, pois as flexibilidades são as mesmas, o que é possível de se modificar é os valores dos nós ao longo dos anos e a opção a ser tomada. A árvore de eventos com flexibilidade pode ser observada na Figura 33.

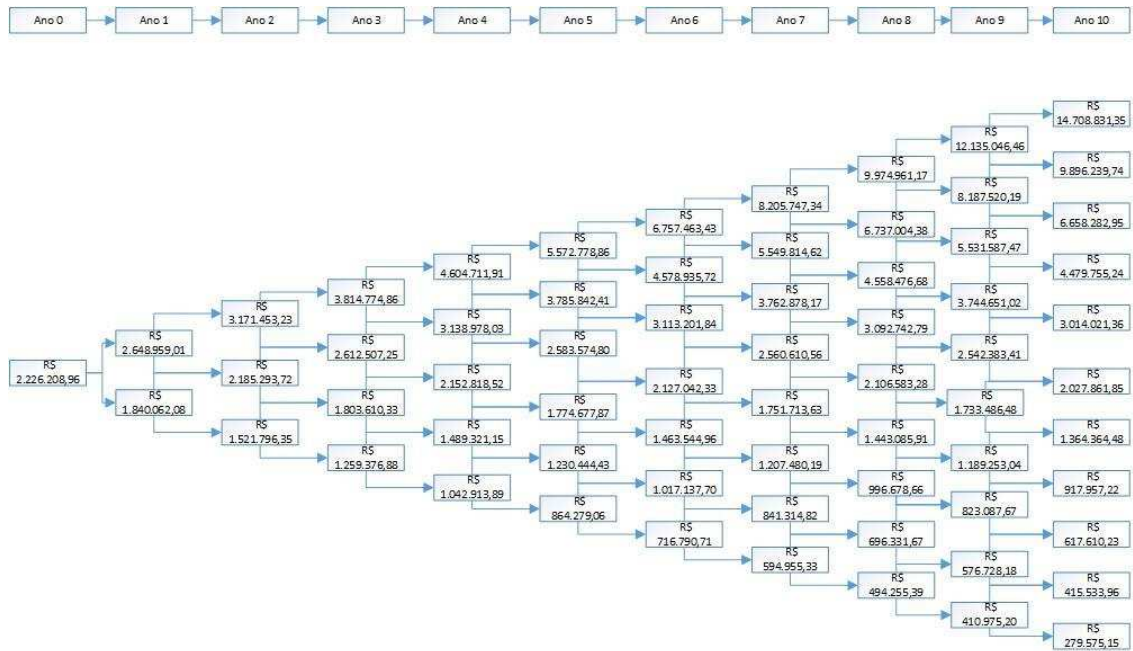


Figura 33. Árvore de eventos com flexibilidade do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional.

O VPL expandido encontrado é o mesmo, ou seja, a volatilidade não muda o valor de abandono do projeto, contudo isso não é importante, pois o objetivo é testar as decisões futuras a serem tomadas. Assim construiu-se a árvore de decisões do projeto utilizando os mesmos valores de venda para possibilitar a comparação entre as duas formas. Dito isso, a árvore de decisões foi construída e pode ser vista na Figura 34.

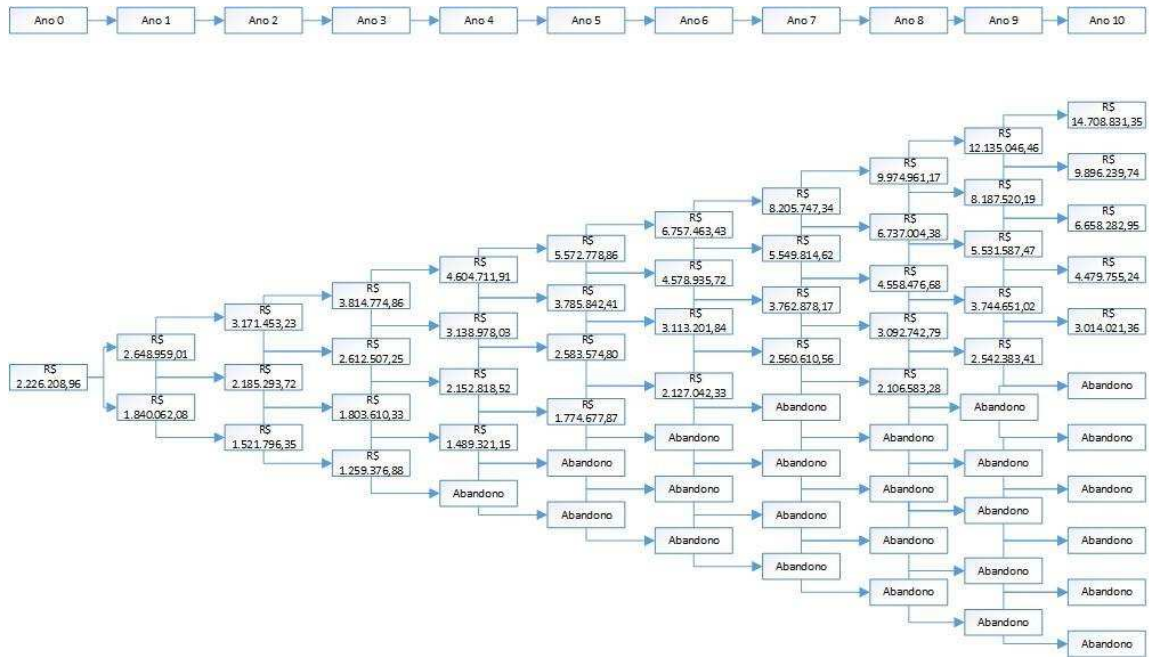


Figura 34. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional.

Observando a nova árvore de decisões percebe-se que as diferenças de valores encontradas não foram significativas, pois não houve diferença no número de nós com a opção de abandono e também na posição desses nós. Assim, a partir dessa árvore de decisões, chega-se a conclusão de que nesse caso utilizar um modelo de heterocedasticidade condicional para encontrar a volatilidade do projeto para a aplicação da TOR não é necessária.

Partindo da mesma premissa anterior, de que a forma tradicional na teoria das opções reais de se obter a volatilidade do ativo de maior impacto num projeto como demasiadamente simples e, possivelmente, não tão fiel, propôs-se novamente uma alternativa para mensuração da mesma: a partir de um modelo de heterocedasticidade condicional. Dessa vez aplicando ao projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp e utilizando seu fluxo de caixa previamente calculado (Tabela 10).

Seguindo a mesma metodologia dos casos anteriores foram obtidos os seguintes valores para a aplicação da TOR e consequente obtenção da árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp (Figura 35): volatilidade calculada por um modelo GARCH(1,1) igual a 4,28% ao mês; movimentos ascendentes e descendentes (u e d) iguais a **1,1598** e **0,8621** respectivamente; probabilidade neutra ao risco (q) igual a **0,7989**.

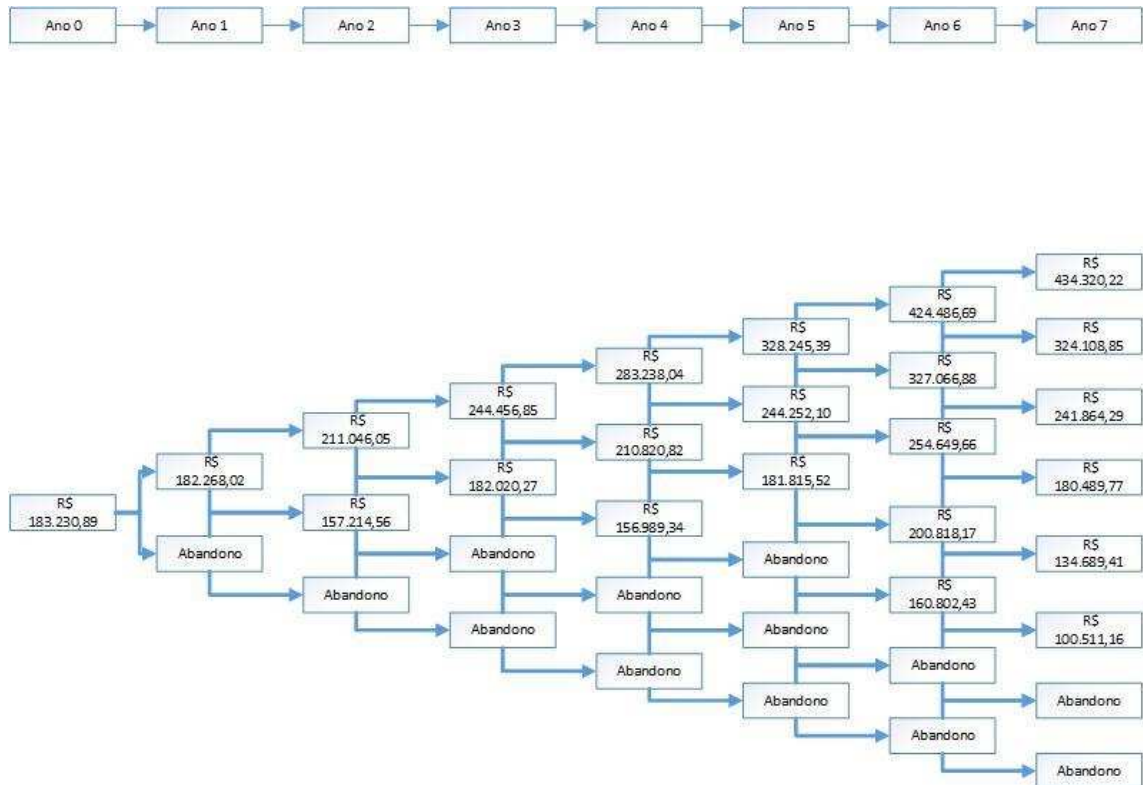


Figura 35. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp a partir da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional.

Diferentemente do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti*, na análise alternativa do projeto relativo a floresta de *Eucalyptus* sp houve diferença em um nó do último ano na árvore de decisões, totalizando 13 nós de abandono contra 14 da forma tradicional. Contudo, não é possível afirmar que a metodologia tradicional esteja superestimando o risco do projeto, havendo assim a necessidade de mais estudos sobre a aplicação alternativa da teoria das opções reais para a confirmação da necessidade de um cálculo mais preciso da volatilidade.

4.5.1. Teoria das Opções Reais – Volatilidade a Partir do método Bootstrap

Por fim, partindo das mesmas premissas anteriores, de que a forma tradicional na teoria das opções reais de se obter a volatilidade do ativo de maior impacto num projeto como demasiadamente simples e, possivelmente, não tão fiel, propôs-se outra alternativa para mensuração da mesma: utilizar o método bootstrap. Dessa vez aplicou-se novamente ao projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* para extração de resina e utilizando seu fluxo de caixa previamente calculado (Tabela 9).

Nesse caso, através da reamostragem dos retornos originais obteve-se uma volatilidade de 8,76%, valor consideravelmente superior aos demais encontrados, 6,47% e 5,72% nas formas tradicional e através de um modelo de heterocedasticidade condicional. A diferença de

3,04% a.m. entre os valores extremos pode significar uma diferença de 43% em apenas um ano, ao final de 10 anos pode significar mais de 3500%, inviabilizando qualquer tipo de análise.

Uma explicação possível para a diferença dos resultados entre as formas do cálculo de volatilidade pelo método bootstrap e as outras duas formas é o fato de que pela forma tradicional calcula-se a volatilidade apenas da série original, que pode ser considerada apenas uma amostra do comportamento dos preços. Já para o cálculo através do modelo de heterocedasticidade condicional existe o erro inerente ao próprio modelo. Dessa forma acredita-se que o bootstrap possa ser uma forma interessante para o cálculo da volatilidade de uma série histórica de preços e sua consequente aplicação na Teoria das Opções Reais.

Seguindo a mesma metodologia dos casos para a aplicação da TOR e consequente obtenção da árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* para extração de resina (Figura 36): volatilidade calculada pelo método bootstrap igual a 8,76% ao mês; movimentos ascendentes e descendentes (u e d) iguais a 1,3545 e 0,7382 respectivamente; probabilidade neutra ao risco (q) igual a 0,5869.

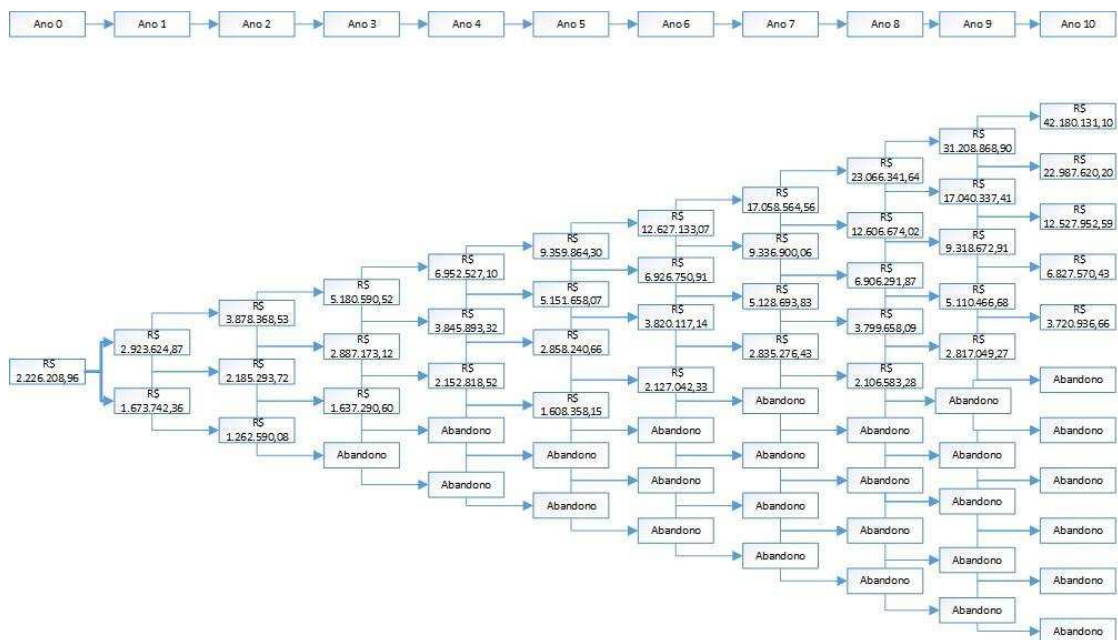


Figura 36. Árvore de decisões do projeto de implementação de uma floresta de *Pinus elliotti* para extração de resina a partir da volatilidade calculada pelo método bootstrap.

Observando a árvore de decisões percebe-se que houve diferença em dois nós, nas duas formas anteriores (tradicional e alternativa) para o mesmo projeto essa diferença não havia sido encontrada. Essa diferença leva a duas observações importantes:

- A possibilidade da opção de abandono foi antecipada em um ano;

-Aumentou-se de 25 para 27 o número de nós com a possibilidade de abandono, chegando em 41% o número de nós com essa opção.

Para aplicar a metodologia bootstrap a série de retornos original foi reamostrada 1000 vezes, assim, a partir dos dados reais foram simuladas diversas situações e possibilidades passíveis de ocorrerem com os dados, para daí então encontrar a volatilidade. A partir desse fato entende-se que o bootstrap seja uma forma segura para o cálculo dessa informação, contudo devido a diferença encontrada para as outras duas formas sugere-se que haja cautela em seu uso.

5. CONCLUSÕES

Os modelos da metodologia Box e Jenkins se mostraram eficientes para prever os preços de madeira de eucalipto e resina de pinus, obtendo-se um erro máximo menor que 5% em previsões para até 6 meses a frente. Assim, esses modelos podem ser úteis para decisões de curto prazo, como estocar a resina coletada ou iniciar a colheita da madeira de eucalipto.

A utilização de modelos de heterocedasticidade condicional para a modelagem da variância se mostrou importante devido a diferença encontrada quando confrontada com a forma mais simples. Assim testou-se a sua utilização em uma abordagem alternativa para a análise de viabilidade econômica de um projeto florestal.

A TOR se mostrou uma boa ferramenta para análise de viabilidade econômica de projetos florestais pois permite uma análise mais ampla. A utilização da volatilidade calculada por um modelo de heterocedasticidade condicional na aplicação da TOR não forneceu resultados diferentes que a forma tradicional em um caso (para o projeto de implementação de uma floresta de pinus), porém houve diferença de um nó em um segundo (projeto de implementação de uma floresta de *Eucalyptus* sp).

A aplicação da TOR utilizando a volatilidade calculada pelo método bootstrap apresentou maior diferença, além do número de nós houve diferença no ano inicial da possibilidade de abandono (para o projeto de implementação de uma floresta de pinus).

Por fim, a análise do comportamento dos preços e sua previsão pode ser considerada uma boa ferramenta para auxiliar na tomada de decisões em projetos florestais, assim como a análise econômica alternativa desses projetos através da TOR se mostrou eficiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**, ABRAF, Brasília-DF, 2013
- ARESB - **Associação Dos Resinadores Do Brasil**. Disponível em <<http://www.aresb.com.br>>. Acesso em: Outubro de 2015
- ASSAF NETO, A. A Superioridade do Método de Fluxo de Caixa Descontado no Processo de Avaliação das Empresas. Instituto Assaf, São Paulo, SP, 2008.
- BARAN, F. D. **Reduções de Emissões de Carbono: Uma Abordagem por Opções Reais**. 2005. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- BARROS, E. de S.; TENÓRIO JÚNIOR, A. J. de A.; OLIVEIRA, S. A. de; SILVA JÚNIOR, L. H. da. Aplicação do método bootstrap na estimação de fronteiras não-paramétricas: o caso dos fruticultores do Vale do São Francisco. 48º Congresso SOBER, Caruaru- PE, 2010.
- BERZAGHI, C.; Pinus spp e resinagem. Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, 1972.
- BRANDÃO, L.E.T.; DYER, J.S.; HAHN, W.J.; Using Binomial Decision Trees to Solve Real Option Valuation Problems. *Decision Analysis*, Vol.1, No.1, p. 1-20, 2005.
- BROBOUSKI, W. J. P.; Teoria das opções reais aplicada a um contrato de parceria com preço mínimo. Curitiba, 2004, 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Setor de Ciências Exatas e Tecnológica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- BUENO, R. L. S. (2011). *Econometria de séries temporais*. São Paulo, Cengage Learning, ed. 2, 341p.
- CAPRONI, T.V.. **Análise da volatilidade de preço do mercado da borracha natural**. Dissertação de mestrado, UFV, 2008
- CESÁRIO, L. C.; BARRETO, M. C. M. Um estudo sobre o desempenho de intervalos de confiança Bootstrap para a média de uma distribuição normal usando amostragem por conjuntos ordenados perfeitamente. **Revista Matemática Estatística**, São Paulo, v.21, n. 3, p. 7-20, 2003.
- CEPEA – **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. <<http://cepea.esalq.usp.br/pibsp/>>. Acesso em: Fevereiro de 2015.
- COELHO JUNIOR, L.M.; REZENDE, J.L.P.; CALEGARIO, N.; SILVA, M.L. (2006). Análise longitudinal dos preços do carvão vegetal, no Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.429-438

- CORDEIRO, S. A., SOARES, N. S., BRAGA, M. J., & DA SILVA, M. L. (2010). Previsões do preço de exportação da madeira serrada de Pinus no Brasil Export price forecast of Brazilian pine sawn wood. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.38, n.86, p 205-214
- COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimento**. Tradução: Maria José Cyhlar. Rio de Janeiro: Campus, 2001. Tradução de: Real Options.
- COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M., **Option pricing: A simplified approach**. Journal Financial Economic. N. 7, p. 229 – 263, 1979.
- CRUZ JUNIOR et al, O Excesso de Confiança dos Produtores de Milho no Brasil e o Uso de Contratos Futuros, **RESR**, Piracicaba, SP, vol. 49, nº 02, p. 369-390, abr/jun 2011 – Impressa em julho 2011
- CUNHA, W. J. da; COLOSIMO, E. A. Intervalos de confiança Bootstrap para modelos de regressão com erros de medida. **Revista Matemática Estatística**, São Paulo, v.21, n. 2, p. 25-41, 2003.
- DIXIT, A.K.; PINDYCK, R.S.; **Investment Under Uncertainty**. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1994.
- DIWAN, J. R. **Análise de Alternativas de Investimento na Área Petrolífera sob a Ótica das Opções Reais Embutindo a Opção do Investimento em Informação**. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. **Ann. Stat.**, Beachood, v.7, p. 1-26, 1979.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. **An introduction to the bootstrap**. New York: Chapman & Hall, 436 p., 1993.
- GALETI, P. A. **Conservação do solo, reflorestamento, clima**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1972.
- GARRIDO, M.A.D.O., POZ, R.D., & FREITAS, J.A.D. (1998). **Resinagem: manual técnico**.
- GASTALDI, H. L. G., & MINARDI, A. M. A. F.; **Opções Reais em Investimentos Florestais**. **Inspere Working Paper**, n.287, 2012
- IBÁ – **Indústria Brasileira de Árvores** < <http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas>>. Acesso em Maio de 2016
- IEA – **Instituto de Economia Agrícola**. <<http://www.iea.sp.gov.br/out/florestas.php>>. Acesso em: Fevereiro de 2015

- JOAQUIM, M. S. Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em sistemas agroflorestais. Tese de doutorado, UnB, 2013.
- KENGEN, S. **A Política Florestal Brasileira: uma perspectiva histórica**. I SIAGEF, Porto Seguro, 2001.
- MONTEIRO, R.C. **Contribuições da Abordagem de Avaliação de Opções Reais em Ambientes Econômicos de Grande Volatilidade – Uma Ênfase no Cenário Latino-Americano**. Dissertação [Mestrado em Controladoria e Contabilidade] - Universidade de São Paulo; Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade; Departamento de Contabilidade e Atuária, São Paulo, SP, 2003.
- MATIAS, M.A.; SILVA, C.A.T.; VIEIRA, L. **Análise de padrões de comportamento de preços com fins de projeção de receita: testes estatísticos em uma série temporal de preços da commodity cobre**. 2005.
- NICACIO, J. E. (2014). Projeção do Custo do Suco de Laranja Pela Aplicação da Simulação Bootstrap. **Revista de Estudos Sociais**, 16(31), 171-185.
- PAMPLONA, E. O. & MONTEVECHI, J. A. B. **Engenharia Econômica II**. Apostila, Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI), Itajubá, MG, 2005.
- QUEIROZ, M. P. F. **Teste de hipóteses em regressão beta baseados em verossimilhança perfilada ajustada e em bootstrap**. Dissertação do mestrado de estatística. Universidade Federal de Pernambuco, Recife- PE, 2011.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2011.
- REINSEL, G. C.; BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 1994.
- REZENDE, J. L. P. & OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Universidade Federal de Viçosa - UFV, ed. 2, Viçosa, MG, 2009.
- SANTOS, E. M. & PAMPLONA, E. O. **Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**. 2º Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmec, Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- SIQUEIRA, J. D. P., LISBOA, R. S., FERREIRA, A.M., SOUZA, M. D., & ARAÚJO, E. D. LISBÃO JÚNIO, L. & SIQUEIRA, M.M. **Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose SA e extensão florestal do Governo do Estado do Espírito Santo**. Floresta, 2004 Edição Especial, 3-67.

SILVA, J. C. da; MARQUETTI, M. M. **Reamostragem Bootstrap na estimação intervalar da média via amostragem por conjuntos ordenados com variável concomitante - um estudo por simulação.** Trabalho de conclusão de curso em estatística. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2009.

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*, v 29, n 6, Viçosa, MG, 2005.

SNIF – **Sistema Nacional de Informações Florestais.** Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: Fevereiro de 2015

SOUSA NETO, J. A.; BERGAMINI JÚNIOR, L. C. & OLIVEIRA, V. I. **Opções Reais: Introdução à Teoria e à Prática.** Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

TONINI, H. **Crescimento em altura de Pinus elliottii Engelm., em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul.** 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

TRIGEORGIS, L. **Real Options – Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation.** The MIT Press, Cambridge, MA, 1996.