

Incerteza e Flexibilidade na Pecuária de Corte Brasileira: o Valor da Opção de Confinamento

Carlos de Lamare Bastian-Pinto[†]
IBMEC - RJ

Alexandre Paula Silva Ramos^Ω
IBMEC - RJ

Luiz de Magalhães Ozorio[¥]
IBMEC - RJ

Luiz Eduardo Teixeira Brandão[±]
PUC - RIO

RESUMO

Neste trabalho, é avaliado o valor da flexibilidade operacional existente na pecuária brasileira advinda da alternativa para engorda de gado, por manutenção deste no pasto ou pelo confinamento. Esse importante setor da economia brasileira, segundo maior no mundo, é altamente pulverizado, apresenta pequenas margens de retorno e é sujeito a significativos fatores de incerteza. O confinamento, que aumenta a velocidade de engorda do gado quando comparada à manutenção deste no pasto, pode maximizar o retorno financeiro do pecuarista. Mas, para isso, a decisão de confinamento precisa ser tomada no momento correto. O confinamento também apresenta riscos relacionados à volatilidade dos custos de alimentação. Por meio da metodologia de opções reais, é avaliado o incremento de valor financeiro do negócio de engorda de gado advindo da flexibilidade existente de escolha do timing correto para transferir o gado do pasto para confinamento em presença das incertezas associadas. Os resultados indicam que há um incremento de retorno financeiro significativo proporcionado pela opção de confinamento, calculado como retorno por cabeça de gado. Estes também apontam para a importância do timing correto do confinamento de forma a maximizar o retorno.

Palavras-chave: Opções Reais. Pecuária de Corte. Flexibilidade Gerencial. Avaliação Financeira.

Recebido em 08/04/2014; revisado em 26/06/2014; aceito em 10/07/2014; divulgado em 03/11/2015

**Autor para correspondência:*

[†]. Doutor em Administração de Empresas, PUC-Rio
Vínculo: Professor Assistente das Faculdades de Economia e Finanças Ibmecc RJ
Endereço: A. Presidente Wilson, 118, Centro, Rio de Janeiro – RJ - Brasil
E-mail: carlos.bastian@ibmecrj.br
Telefone: (21) 9 9496-5520

^Ω Mestre em administração de empresas com ênfase em Finanças pelo IBMEC-RJ
Endereço: Rua General Dionísio, Humaitá, Rio de Janeiro – RJ - Brasil
E-mail: alepsramos@gmail.com
Telefone: (21) 9 8854 1504

[¥] Pós-Doutor em Economia da Energia, UFRJ
Vínculo: Professor Assistente das Faculdades de Economia e Finanças Ibmecc RJ
Endereço: Presidente Wilson 118, Centro, Rio de Janeiro – RJ - Brasil
E-mail: lmo@ibmecrj.br
Telefone: (21) 9 9923-1747

[±] Doutor em Finanças, PUC-Rio
Vínculo: Professor Associado, PUC-RJ
Endereço: PUC-RJ, IAG. Rua Marques de São Vicente 225, Gávea, 22451900, Rio de Janeiro – RJ - Brasil
E-mail: brandao@iag.puc-rio.br
Telefone: (21) 9 8799-1728

Nota do Editor: Esse artigo foi aceito por Emerson Mainardes



1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do USDA (2013) (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América), o Brasil é o segundo maior produtor de carne do mundo desde 2009. Em 2012, a produção nacional foi de 9,2 milhões de toneladas, representando aproximadamente 16% de toda produção mundial. No mesmo ano, o Brasil consta também como segundo maior rebanho do mundo, com 197,5 milhões de cabeças, aproximadamente 19,3% de todo rebanho mundial (USDA).

O mercado interno brasileiro está entre os três maiores mercados consumidores mundiais, com 7,9 milhões de toneladas em 2012 (USDA). Segundo estimativas da Anualpec (2012), consumo interno de carne bovina per capita nacional é de 34,5 kg/hab./ano, patamar semelhante a países como Estados Unidos (35,3 kg/hab./ano) e Austrália (36,1 kg/hab./ano). Segundo levantamento do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – (CEPEA/ESALQ, 2014), o Produto Interno Bruto (PIB) da pecuária foi de R\$ 332,6 bilhões, representando cerca de 30,5 % do PIB total do agronegócio em 2013, o que mostra que a pecuária possui grande representatividade na atividade econômica brasileira.

Em 2010, a cadeia produtiva da carne bovina movimentou cerca de US\$167,5 bilhões (ABIEC, 2011). Segundo Silveira (2002), os resultados apresentados na pecuária são decorrentes da intensa mudança estrutural dos últimos anos ocorridos na atividade, com a introdução cada vez maior do uso de tecnologias e de modelos de gerenciamento mais eficazes, garantindo posição de destaque no cenário internacional.

No entanto a maior parte dos produtores no Brasil é de pequeno a médio porte, e as margens de retorno financeiro do setor são pequenas e sujeitas a incertezas como preço de venda do produto final e custos de operação. Uma importante e recorrente decisão operacional dos produtores diz respeito ao momento de confinar as cabeças de gado. Essas decisões têm um forte impacto sobre a rentabilidade do negócio, pois se de um lado o confinamento aumenta a velocidade de engorda, por outro lado também aumenta os custos de produção. Dessa forma, a determinação do momento ótimo para o confinamento é de fundamental importância para o sucesso do negócio.

O valor dessa flexibilidade gerencial em ambiente de incerteza não é capturado pelas metodologias tradicionais de avaliação de investimentos, como o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), uma vez que flexibilidades têm características de opções. A metodologia das Opções Reais, por outro lado, permite avaliar as flexibilidades gerenciais incorporadas aos projetos,

processos ou empresas, na presença de incertezas. Assim, o objetivo do presente artigo é aplicar a metodologia de opções reais na mensuração do valor da opção de timing de confinamento estratégico a qual está presente no segmento agropecuário de gado de corte no Brasil. E, dessa forma, este artigo procura evidenciar se essa flexibilidade gerencial (opção real) agrega, de fato, valor à atividade pecuária e quantificar esse valor a partir da abordagem simples de fluxo de caixa descontado.

O segmento agropecuário de gado de corte foi escolhido por apresentar elementos comuns aos outros setores da economia, como elevado nível de incerteza da atividade, existência de flexibilidade gerencial do pecuarista na tomada de decisão, e pela importância econômica e social que a atividade representa no país.

Este artigo está organizado da seguinte forma: após esta introdução, é apresentado o referencial teórico com uma visão geral do setor de pecuária brasileiro e uma revisão de literatura de Opções Reais e de modelagem de incertezas por Processos Estocásticos. No capítulo 3 é apresentado o modelo utilizado. No capítulo 4, é feita a modelagem, o tratamento dos dados e são apresentados os resultados obtidos. No capítulo 5, apresenta-se a conclusão e as sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SETOR AGROPECUÁRIO

Segundo dados da Anualpec (2012), o número de cabeças tratadas em engorda intensiva via confinamento aumentou 67,8% entre 2003 e 2012. No entanto, apesar desse crescimento, o número de cabeças tratadas em sistemas de engorda intensiva ainda é baixo, correspondendo a cerca de apenas 4% do rebanho total. Adicionalmente, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012), a bovinocultura está presente em todos os estados brasileiros, o que reforça a importância econômica e social da atividade no país. Medeiros e Montevechi (2005) apontam para existência de três etapas no processo produtivo da carne bovina: cria, recria e engorda, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fases do Processo Produtivo de Carne Bovina de Corte

Fase	Cria	Recria	Engorda
Características			
Categoria animal ao final da fase	Bezerro	BOI Magro	BOI GORDO
Idade média	até 8 meses	de 8 a 36 meses	até 48 meses
Duração da fase	de 6 a 8 meses	de 6 a 24 meses	de 6 a 18 meses
Peso ao final da fase	de 4 a 8 arrobas*	de 13 a 15 arrobas*	mais de 16,5 arrobas*
Sistema de criação	Extensivo à pasto	Extensivo e Semi-extensivo à pasto	Semi-intensivo à pasto e Intensivo com confinamento
Nível tecnológico	Baixo e pouco desenvolvido	Médio/Alto e Desenvolvido	Alto e Muito desenvolvido
Localização dos criatórios	Áreas distantes dos centros consumidores e em terras com baixa fertilidade	Áreas mais próximas a centros consumidores e em terras com média/alta fertilidade	Áreas próximas a centros consumidores e em terras com alta fertilidade

*- arroba métrica, equivalente a 15 Kg, símbolo: @
 Fonte: Medeiros e Montevechi (2005)

Segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2006), entre os estabelecimentos com mais de 50 cabeças, aproximadamente 59% do rebanho total estão localizadas em unidades produtivas especializadas em uma ou duas etapas produtivas, o que reforça a estrutura horizontalizada do processo.

Silveira (2002) identifica que poucos produtores realizam as três fases de produção devido a fatores culturais, de localização e de preço da terra. De fato, a especialização gera investimentos menores tanto em capital e quanto em área para desenvolvimento da atividade, ao mesmo tempo em que promove uma elevação dos riscos de preço da atividade ao longo da cadeia produtiva. As etapas do processo produtivo são desenvolvidas em propriedades e, segundo Barbosa, Andrade, Souza, Graça, & Pinto (2011), podem ser divididas em dois subsistemas de produção: subsistema tradicional (extensivo) e um subsistema melhorado (semi-intensivo ou intensivo). No subsistema tradicional, há predomínio da pecuária extensiva com forte dependência de obtenção de nutrientes via pasto, ausência de investimentos em melhoramento das pastagens, baixa produtividade anual. Em subsistemas melhorados, existem maiores investimentos em manutenção, melhoria de pastagens, utilização de suplementação mineral e nutricional, e de sistemas de confinamento. Nesses subsistemas, pode-se identificar maior concentração de propriedades especializadas nas etapas de recria e engorda, conforme Tabela 1.

Na etapa da engorda, Barbosa (2012) reforça a opção de terminação de bovinos em confinamento como estratégia para capturar condições específicas de mercado, elevando a rentabilidade e aumentando escala produtiva da propriedade. De fato, ganhos adicionais com a opção de confinamento são possíveis devido à flexibilidade do ambiente comercial no qual o pecuarista está inserido. Segundo relatório de IEL, CNA e SEBRAE (2000), se o mercado estiver desfavorável naquele momento, o produtor possui a opção de não vender o animal, retendo assim o boi gordo no pasto ou no confinamento, diminuindo assim a oferta e esperando um ambiente mais favorável no futuro próximo.

Dessa forma, em propriedades com características de subsistema melhorado, o pecuarista possui a opção de escolher o processo ótimo de engorda do animal, pasto ou confinamento, além de poder determinar o momento da venda do animal dentro do prazo de duração da etapa de engorda, conforme a Tabela 1. A figura 1 representa o diagrama da tomada de decisão do pecuarista em subsistema melhorado ao longo da fase de engorda.

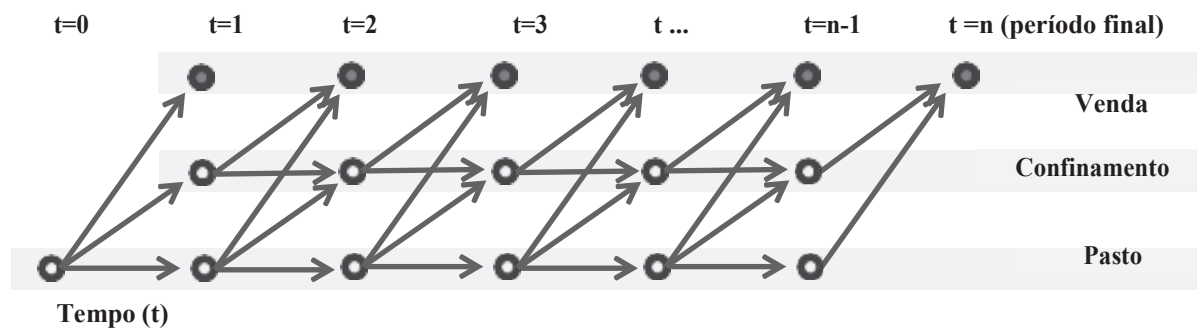


Figura 1 - Diagrama da tomada de decisão do pecuarista - Etapa de engorda

Os pontos em aberto na figura 1 apresentam possibilidade de atuação do pecuarista enquanto os pontos fechados representam o fim da flexibilidade. Pode ser observado que dada à escolha por confinamento, a opção de voltar o animal ao pasto se extingue, pois o ganho de peso obtido no confinamento seria reduzido dado ao gasto energético da mobilidade do animal em pasto. No entanto a estratégia de confinamento possui acesso restrito, pois exige elevado investimento inicial (máquinas, instalações entre outros), além de custos adicionais com alimentação, mão de obra, saneamento e demais custos específicos, elevando ainda mais os riscos da atividade.

Segundo Lopes e Magalhães (2005), a alimentação em confinamento representa aproximadamente 30,2% dos custos totais da atividade (incluindo o custo de aquisição do animal, que representa 66,6% do total dos custos). Os principais insumos da alimentação são

grão de milho, casca de soja, farelo de girassol, ureia e suplemento minerais (GUEDES, 2011), o que eleva a exposição do pecuarista aos riscos de mercado dessas *commodities*.

Conforme visto em Maya (2003), a atividade pecuarista é sujeita a incertezas de mercado como o preço de insumos e do produto final, e aos riscos inerentes ao processo produção como fatores climáticos, pragas e mutações genéticas. Dessa forma, o pecuarista especializado na etapa de engorda em subsistema melhorado trabalha com dois fatores de risco. O primeiro está relacionado ao preço de venda do Boi Gordo, e o segundo, os custos de confinamento. O problema surge na avaliação econômico-financeira do valor gerado pelas flexibilidades gerenciais combinadas com duas variáveis de risco presentes etapa da engorda. Do ponto de vista da análise de investimentos via fluxo de caixa descontado, a flexibilidade gerencial do pecuarista apresentado na Figura 1, poderia gerar problemas na aplicação de teorias tradicionais de avaliação de projetos de investimento, por não conseguir capturar o valor das flexibilidades gerenciais existentes nesse mercado.

2.2 OPÇÕES REAIS

A flexibilidade gerencial observada em diversos segmentos econômicos, como o de infraestrutura (BRANDÃO, SARAIVA, 2008), setor siderúrgico (OZORIO et al., 2013), construção civil (FORTUNATO et al., 2008), entre muitos outros, geram complexidades adicionais ao FCD, que por sua vez, pode não ser capaz de quantificar adequadamente o real valor adicionado aos projetos.

De forma pioneira, Tourinho (1979) apresenta metodologia baseada na extensão dos trabalhos desenvolvidos por Black e Scholes (1973) e Merton (1973) aplicados na precificação do valor das opções geradas pelas flexibilidades gerenciais na avaliação de projetos de ativos reais. Essa metodologia foi denominada de Teoria das Opções Reais (TOR), que permite avaliar adequadamente o real valor de projetos reais diante cenários de incerteza.

Boyle (1988) eleva a capacidade de modelagem de riscos da TOR ao modelar duas variáveis de incerteza por meio da metodologia de árvores binomiais recombinantes apresentadas em Cox, Ross e Rubinstein (1979). Posteriormente, o conceito de árvore bivariável foi discutido em Copeland e Antikarov (2003) com modelagem de dois fatores de incerteza correlacionados entre si. Em Bastian-Pinto, Brandão e Hahn (2009) e em Hahn e Dyer (2008) ambos fatores de incerteza (preços de etanol e açúcar) são modelados por meio de dois processos de Movimento de Reversão à Média (MRM) adaptados em árvore binomial recombinante a partir da modelagem das probabilidades censuradas desenvolvidas por Nelson

e Ramaswani (1990). Dessa forma, essa abordagem viabiliza a aplicação da metodologia da TOR em projetos de ativos reais envolvendo preços de *commodities* correlacionadas entre si.

2.3 ESCOLHA DO PROCESSO ESTOCÁSTICO

2.3.1 Fatores de Incerteza do Projeto

Para fins deste estudo, utilizaremos duas variáveis-objeto para precificação das opções descritas na Figura 2 que são: o preço de mercado à vista do Boi Gordo e os custos de confinamento, ambos em Reais por Arroba (R\$/@). O preço à vista do Boi Gordo é a variável primordial para o fluxo de caixa operacional da atividade, sendo esse parâmetro utilizado para pautar grande parte do processo de tomada de decisão do pecuarista (IEL, CNA, SEBRAE, 2000). Os dados do preço no mercado à vista do Boi Gordo foram obtidos pelo site do CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, da Escola Superior de Agricultura, CEPEA/ESALQ, 2014).

Os custos de confinamento são o conjunto de ingredientes necessários para alimentação do animal em fase de engorda intensiva, como exemplo grão de milho, casca de soja, farelo de girassol, ureia e suplemento minerais (GUEDES, 2011). Para Lopes (2008), os custos totais de confinamento podem ser segregados em cinco grandes componentes: a aquisição do animal, a alimentação, mão de obra, diversos, e sanidade. Para o presente estudo iremos utilizar os custos no cocho, ou seja, custos da dieta mais os demais custos operacionais da atividade de confinamento. Os dados de custos de confinamento foram obtidos através da estimativa da BIGMA Consultoria (BIGMA, 2012), empresa especializada em administração de propriedades rurais, análise de projetos e técnicas de produção.

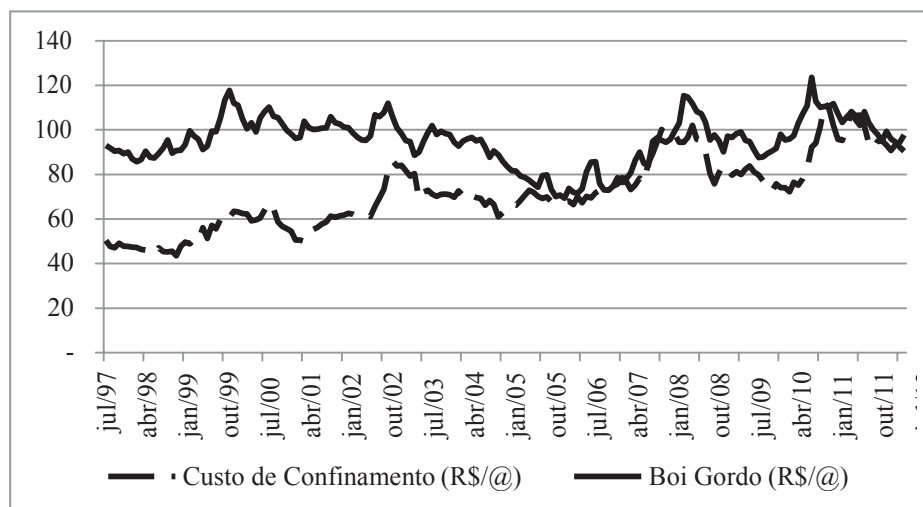


Figura 2 - Média mensal do preço à vista deflacionado sem sazonalidade do Boi Gordo e Custo de Confinamento (ambos em R\$/@)

2.3.2 Processos Estocásticos

Uma forma comum de modelar variáveis de incerteza de projeto de investimento analisadas por meio da TOR é o Movimento Geométrico Browniano (MGB) (PADDOCK; SIEGEL; SMITH, 1988), no qual se assume que a variável segue um modelo de difusão lognormal em que a variância cresce linearmente com o tempo. Dixit e Pindyck (1994) também mostram que no curto prazo, a difusão dos preços são dominados por choques estocásticos, ou seja, por um comportamento geométrico browniano. Entretanto estudos empíricos de dados históricos de preços de *commodities* revelam que modelos de reversão à média são mais precisos em capturar o real comportamento dessas variáveis (HAHN; DYER, 2008).

O Movimento de Reversão à Média (MRM) é um processo de Markov no qual o sentido e a intensidade do desvio são dependentes do preço corrente, que por sua vez, converge para uma média de equilíbrio de mercado a qual é assumida como sendo o preço médio de longo prazo. O processo de fator único de Ornstein-Uhlenbeck é a forma mais simples de MRM, o qual é definido pela Equação (1):

$$dx = \eta (\bar{x} - x) dt + \sigma dz \quad (1)$$

em que x_t é a variável modelada, η a velocidade de reversão à média, \bar{x} o nível de equilíbrio de longo prazo para qual x_t converge, σ a volatilidade do processo e dz um processo de Wiener. O valor esperado e variância do processo são dados pelas Equações (2) e (3) (DIXIT; PINDYCK, 1994):

$$E(x_t) = \bar{x} + (x_0 - \bar{x}) \cdot e^{-\eta(t-t_0)} \quad (2)$$

$$\text{var}(x_t) = \frac{\sigma^2}{2\eta} \left(1 - e^{-2\eta(t-t_0)} \right) \quad (3)$$

As equações (2) e (3) mostram que quando: t tende para o infinito, então: $\text{Var}[x_t]$, tende para: $\sigma^2/2\eta$ diferentemente do que ocorre no MGB, onde a variância tende ao infinito à medida que o tempo aumenta. Dessa forma, a variância do processo MRM possui menor dispersão do que o modelo MGB, que possui características de séries não-estacionárias, ou seja, a média e variância mudam com o tempo. Assim, a determinação da estacionariedade ou não da série pode contribuir para a escolha do processo mais adequado para modelar a variável.

2.3.3 Seleção do Processo Estocástico

Um dos principais testes de verificação da existência de estacionariedade em uma série de tempo é o teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF). Esse teste infere existência de raiz unitária, segundo o qual a hipótese nula (H_0) de que existe raiz unitária na série, ou seja, $b = 1$, por meio de regressão linear por mínimos quadrados. Caso não seja possível rejeitar a hipótese nula, conclui-se que a série apresenta raiz unitária e segue um processo de difusão aleatória. Se a hipótese nula é rejeitada, há indícios de que a série seja um processo estacionário, no qual a média e variância são constantes ao longo do tempo, caracterizando uma reversão à média. Foi aplicado o teste ADF nas séries temporais representativas das variáveis de incerteza do pecuarista na fase de engorda: os preços de comercialização do Boi Gordo (CEPEA/ESALQ, 2014) e dos custos de confinamento (BIGMA, 2012), ambos mensurados em Reais por Arroba (R\$/@).

Foi utilizado o software EViews para realizar o teste Dickey-Fuller aumentado (ADF) nas séries deflacionadas em base logaritmo neperiano de preços do Boi Gordo e de Custos de Confinamento. Foi usada a opção de “intercepto” na equação de teste para série de preços do Boi Gordo, e a opção de equação de teste com “tendência e intercepto” para variável “custos de confinamento” por acomodar melhor a série de dados. No entanto, para ambas as séries, o teste foi aplicado sem a adição de *lags*, ou diferenciação. A razão para tal está em que nos estudos envolvendo derivativos (como é o caso das opções reais), os cálculos das otimizações ao longo das trajetórias incertas do ativo subjacente, são realizadas por indução retroativa (ou do futuro para o presente). Por essa razão, os processos estocásticos modelados são com processos de Markov, em que o passo a seguir depende somente do último valor da série, independentemente da trajetória deste até então. Por essa razão, a busca de estacionariedade deve ser realizada sobre o logaritmo neperiano da série, sem introdução de diferenciação.

A estatística-*t* para a série de preço do Boi Gordo não permite rejeição da hipótese nula de raiz unitária ao nível de significância de 5% (valor crítico: -3,425), indicando que a série apresenta adequação ao movimento Browniano. No entanto, para variável “Custos de Confinamento”, a estatística-*t* evidencia que a série apresenta comportamento de reversão à média, conforme podemos observar no resultado do teste abaixo:

- Preço do Boi Gordo - estatística-*t*: -2,245
- Custos de Confinamento - estatística-*t*: -3,630

Pindyck (1999) argumenta que o teste ADF não é suficiente para determinar a escolha do processo estocástico, e recomenda a utilização de outra abordagem que reflita característica do comportamento da série diante de choques de preços, em que impactos temporários na série evidenciam um comportamento de reversão à média. Para tal, sugere utilização do teste de razão da variância conforme Equação (4).

$$R = \frac{1}{\bar{k}} \frac{Var(P_{t+k} - P_t)}{k Var(P_{t+1} - P_t)} \quad (4)$$

O teste de razão da variância mede o comportamento da variância da série à medida que o número de defasagens k aumenta. No caso do MGB, no qual a variância cresce linearmente com k , a razão R_k aproxima-se de 1 com o crescimento de k . Por outro lado, caso a razão inicialmente aumente, estabilizando-se posteriormente em patamar abaixo de 1 evidencia-se processo estacionário de reversão à média. Foi aplicado o teste de razão da variância aos fatores de incerteza da atividade de engorda via sistemas de confinamento. O resultado é apresentado na Figura 3 e corrobora com a premissa de reversão a média para ambas as séries.

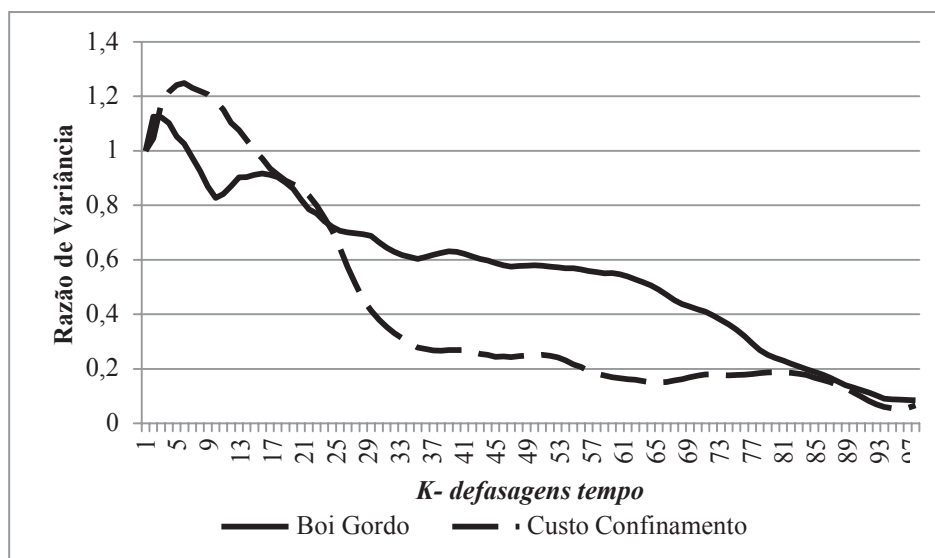


Figura 3 - Teste de razão da variância

De forma geral, os testes (ADF e Razão de Variância) sustentam a hipótese de que os fatores de incerteza preço do Boi Gordo e Custos de Confinamento podem ser modelados como processos de reversão à média para modelagem estocástica dessas variáveis. Os processos de reversão à média apresentam maior complexidade computacional se comparados aos MGB, dado a maior dificuldade da aproximação dos resultados aos nós da estrutura de árvore binomial recombinante.

3 METODOLOGIA

3.1 APROXIMAÇÃO DA ÁRVORE BINOMIAL RECOMBINANTE AO PROCESSO DE REVERSÃO À MÉDIA

Nelson e Ramaswamy (1990) propõe uma metodologia discreta que aproxima o modelo contínuo de Ornstein-Uhlenbeck por meio de uma árvore binomial recombinante. Esse modelo utiliza uma sequência binomial simples de duração Δt com n períodos, e horizonte de tempo $T = n\Delta t$. O modelo ainda utiliza probabilidades como forma de censurar pontos da árvore binomial construída, fornecendo resultados consistentes para aplicação da TOR. As Equações (5) descrevem os valores e as probabilidades do processo estocástico binomial para o modelo de reversão à média Ornstein-Uhlenbeck.

$$\begin{aligned}
 x_t^+ &\equiv x_{t-1} + \sigma\sqrt{\Delta t} \equiv x_{t-1} + U && \text{(movimento de subida, com } U = \sigma\sqrt{\Delta t} \text{)} \\
 x_t^- &\equiv x_{t-1} - \sigma\sqrt{\Delta t} \equiv x_{t-1} + D && \text{(movimento de descida, } D = -\sigma\sqrt{\Delta t} \text{)} \\
 p_t &\equiv \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{\eta(\bar{x} - x)}{\sigma\sqrt{\Delta t}} && \text{(probabilidade de subida)} \\
 1 - p_t &&& \text{(probabilidade de descida)}
 \end{aligned} \tag{5}$$

O passo binomial aditivo (o processo de Ornstein-Uhlenbeck é um MRM aritmético) é mostrado na Figura 4.

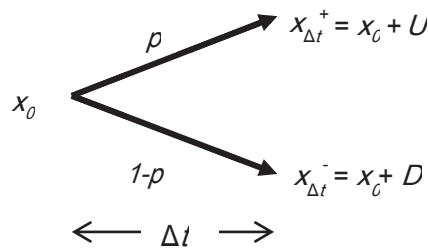


Figura 4 - Passo Binomial Aditivo para Modelagem de Ornstein-Uhlenbeck

Como forma de delimitar as probabilidades acima estejam dentro do intervalo $[0;1]$, Nelson e Ramaswami (1990) censuram as probabilidades existentes que estejam fora do intervalo, inviabilizando probabilidades negativas e/ou acima de 100%. A Equação (6) resume as condições acima:

$$p_x = \text{Máx} \left(0, \text{Mín} \left(1, \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{\eta(\bar{x} - x)}{\sigma\sqrt{\Delta t}} \right) \right) \tag{6}$$

Como a probabilidade de subida e descida de cada nó da árvore recombinante é dependente do patamar de x_t , o resultado converge de forma fraca para um MRM (HAHN; DYER, 2008). No entanto, para que seja descontada a árvore binomial obtida pela taxa de desconto livre de risco, é preciso modificar o MRM para um processo neutro ao risco. Para isso, é necessário penalizar a média de

longo prazo pelo prêmio de risco normalizado da variável x_t , representado por: λ_x/η (DIXIT; PINDYCK, 1994). Dessa forma, a Equação (7) retrata a Equação (6) ajustada pela neutralidade ao risco:

$$p_x = \text{Máx}_x \left(\left| 0, \text{Mín} \left(1, \frac{1}{2} + 1 \frac{\eta(x - \lambda_x/\eta - x)}{\sigma \sqrt{\Delta t}} \right) \right| \right) \quad (7)$$

3.2 MODELAGEM BI VARIÁVEL COM DOIS FATORES DE INCERTEZA SEGUINDO MRM

Os modelos bi variáveis possibilitam concatenar processos estocásticos distintos às duas variáveis de incerteza do projeto, estas podendo ser ou não correlacionadas. A aproximação da árvore binomial recombinante de Cox *et al* (1979) para duas variáveis foi inicialmente apresentada por Boyle (1988). Posteriormente, He (1990); Ho, Stapleton, e Subrahmanyam (1995) entre outros, demonstraram a concordância dessa metodologia com modelos de fatores únicos duplicados seguindo MGB. Copeland e Antikarov (2003) apresentam um modelo bi-variável, conhecido como modelo quadrinomial, com os dois fatores de incerteza correlacionados onde ambos seguem um comportamento de MGB.

Schwartz e Smith (2000) desenvolveram um modelo de reversão à média de dois fatores que adota dois processos estocásticos distintos para modelar o preço de uma commodity. No artigo, foi aplicado um MRM para descrever o comportamento de curto-prazo dessa variável, e um MGB, para capturar evolução do nível de equilíbrio de preços no longo-prazo do fator de incerteza. Hahn (2005) adaptou o modelo de Schwartz e Smith (2000) numa árvore bi variável, modelando dois fatores de incerteza, sendo um deles construído conforme árvore binomial de Cox *et al* (1979), e outro utilizando a abordagem de Nelson e Ramaswami (1990), convergindo de forma fraca para um movimento de reversão à média. Bastian-Pinto, Brandão e Hahn (2009) e Hahn e Dyer (2008) aplicam o modelo de árvore bi variável utilizando dois processos MRM para os dois fatores de incerteza do projeto através do modelo censurado de Nelson e Ramaswami (1990).

De maneira geral, nos modelos bi variável, para cada nó da árvore, existem quatro ramificações com probabilidades de subida e descida associadas de duas variáveis (x e y), conforme podemos observar pela Figura 5.

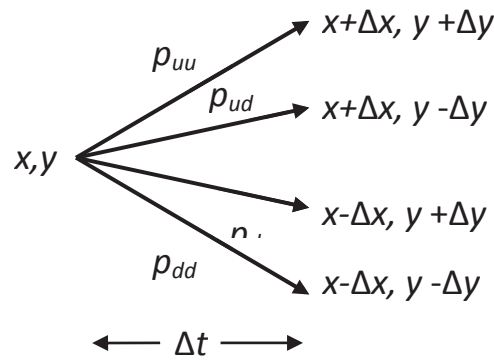


Figura 5 - Ramificação bi-variável

Brandão e Dyer (2011) demonstram que as probabilidades conjuntas para x e y podem ser descritas conforme descrito nas Equações (8):

$$\begin{cases} p_{uu} = \frac{\Delta x \Delta y + \Delta y v_x \Delta t + \Delta x v_y \Delta t + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y \Delta t}{4 \Delta x \Delta y} \\ p_{ud} = \frac{\Delta x \Delta y + \Delta y v_x \Delta t - \Delta x v_y \Delta t - \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y \Delta t}{4 \Delta x \Delta y} \\ p_{du} = \frac{\Delta x \Delta y - \Delta y v_x \Delta t + \Delta x v_y \Delta t - \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y \Delta t}{4 \Delta x \Delta y} \\ p_{dd} = \frac{\Delta x \Delta y - \Delta y v_x \Delta t - \Delta x v_y \Delta t + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y \Delta t}{4 \Delta x \Delta y} \end{cases} \quad (8)$$

Em que V_x e V_y são as taxas de crescimento (*drift*) de cada processo, e ρ_{xy} a correlação entre as variáveis. A soma das probabilidades p_{uu} , p_{ud} , p_{du} , e p_{dd} são iguais a 1 (HAHN; DYER, 2008). Como cada nó da árvore apresenta quatro subdivisões, este não pode ser diretamente censurado conforme metodologia de Nelson e Ramaswami. Hahn (2005) contorna essa questão aplicando a regra de Bayes ($p(xt \cap yt) = p(xt|yt)p(yt)$) com objetivo de decompor as probabilidades conjuntas no produto das probabilidades marginais e condicionais, conforme as Equações (9):

$$\begin{cases} p_u = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{v_y \Delta t}{\Delta y} \\ p_d = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{v_y \Delta t}{\Delta y} \end{cases} \quad (9)$$

Dessa forma, dividindo as probabilidades acima nas Equações (8) **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pelas equações correspondentes nas Equações (9) temos as seguintes probabilidades condicionais para x :

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{u|u} = \frac{\Delta x (\Delta y + v_y \Delta t) + \Delta t (\Delta y v_x + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y)}{2\Delta y (\Delta x + v_x \Delta t)} \\ p_{d|u} = \frac{\Delta x (\Delta y - v_y \Delta t) + \Delta t (\Delta y v_x - \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y)}{2\Delta y (\Delta x + v_x \Delta t)} \\ p_{u|d} = \frac{\Delta x (\Delta y + v_y \Delta t) - \Delta t (\Delta y v_x + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y)}{2\Delta y (\Delta x + v_x \Delta t)} \\ p_{d|d} = \frac{\Delta x (\Delta y - v_y \Delta t) - \Delta t (\Delta y v_x - \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y)}{2\Delta y (\Delta x + v_x \Delta t)} \end{array} \right. \quad (10)$$

Assim tem-se $p_{u|u} + p_{d|u} = 1$ e $p_{u|d} + p_{d|d} = 1$. Essa formulação permite segregar as quatro subdivisões com as probabilidades conjuntas de forma sequencial, na qual as probabilidades condicionais da variável x podendo ser novamente censuradas utilizando a Equação (7).

Bastian-Pinto (2009) adapta para o modelo de reversão à média de Ornstein Uhlenbeck, essas probabilidades já no formato neutro ao risco conforme as Equações (11):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{u|u} = \frac{\frac{1}{2} \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_x (\bar{x} - \lambda_x / \eta_x - x_t) + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t) + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t)} \\ p_{d|u} = \frac{\frac{1}{2} \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_x (\bar{x} - \lambda_x / \eta_x - x_t) - \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t) - \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t)} \\ p_{u|d} = \frac{\frac{1}{2} \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_x (\bar{x} - \lambda_x / \eta_x - x_t) + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t) - \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t)} \\ p_{d|d} = \frac{\frac{1}{2} \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_x (\bar{x} - \lambda_x / \eta_x - x_t) - \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t) + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sqrt{\Delta t} \eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t)} \end{array} \right. \quad (11)$$

Novamente, estas podem ser diretamente censuradas se foram acima de 1 ou inferiores a 0. As probabilidades marginais de subida e descida do processo y_t ficam conforme as Equações (12):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_u = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{\eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t) \sqrt{\Delta t}}{\sigma_y} \\ p_d = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{\eta_y (\bar{y} - \lambda_y / \eta_y - y_t) \sqrt{\Delta t}}{\sigma_y} \end{array} \right. \quad (12)$$

No modelo adaptado por Hahn e Dyer (2008), as probabilidades marginais de ambas as variáveis podem ser censuradas para refletir a modelagem de dois processos MRM, conforme a Figura 6.

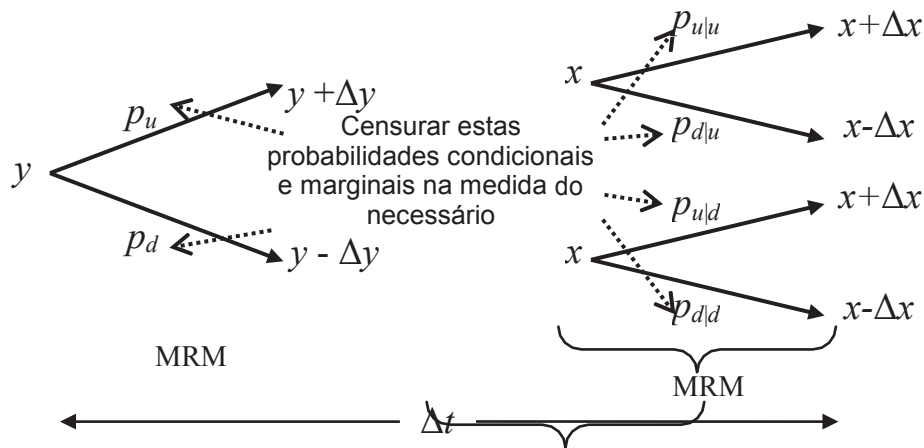


Figura 6 - Nó bi-variável censurado com dois processos MRM

4 MODELAGEM E RESULTADOS

4.1 ESTIMAÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS UTILIZADOS

Foi usado para o preço do Boi Gordo o Indicador de Preços do Boi Gordo ESALQ/BM&FBOVESPA disponibilizado *online* pelo CEPEA (CEPEA/ESALQ, 2014). Os dados de “Custo de Confinamento” foram obtidos por meio da BIGMA Consultoria (2012). Ambos os dados são mensurados em Reais por Arroba (R\$/@), no período compreendido entre julho/1997 a agosto/2012.

As séries tratadas em base mensais foram deflacionadas pelo IGP-M (Índice Geral de Preços-disponibilidade interna, da Fundação Getúlio Vargas). Adicionalmente, foram expurgados os efeitos da sazonalidade inerente à dinâmica do ciclo anual, como exemplo o período de seca.

Os parâmetros de reversão à média das variáveis foram obtidos por meio do processo autorregressivo de primeira ordem AR(1) sobre o logaritmo neperiano das variáveis deflacionadas. O resultado é apresentado pela Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros para a Modelagem por MRM

Parâmetros	η_{aa}	σ_{aa}	\bar{x}^* (R\$/@)	x_0 (R\$/@)
Boi Gordo	0,68	13,60%	94,08	90,48
Custo de Confinamento	0,22	15,21%	85,33	71,95

Os valores de \bar{x}^* para ambas as variáveis estocásticas modeladas na Tabela 2 já estão com seus valores ajustados para a neutralidade ao risco (portanto: $\bar{x}^* = \bar{x} - \lambda_x / \eta_x$).

Modelou-se a interdependência entre os fatores de incerteza por meio da correlação serial dos dados, obtendo o valor de $\rho_{xy} = 15,33\%$. Utilizou-se 7% a.a. como taxa livre de risco.

4.2 FLUXO DE CAIXA DO PECUARISTA E AVALIAÇÃO POR OPÇÕES REAIS

Restringiu-se a modelagem das opções para fase “engorda” do processo produtivo da carne bovina de corte, conforme Tabela 1. Esse período tem como objetivo final aumentar o peso do animal, elevando assim, o retorno econômico da propriedade.

De acordo com Medeiros e Montevechi (2005), o período de engorda tem duração de seis a dezoito meses, sendo o peso do animal ao fim do processo superior a dezesseis Arrobas e meia (16,5 @). Durante os dezoito meses do processo de engorda, o produtor poderá optar por engordar os animais via pasto, ou utilizar técnica de engorda intensiva por meio de estruturas de confinamento para elevar ainda mais o peso do animal. No décimo oitavo mês, há extinção das opções de engorda e a venda do animal é mandatória, caracterizando o fim da fase de engorda.

Com base nos parâmetros obtidos, conforme a Tabela 2, foram estimados por dezoito meses os fatores de incerteza do projeto: preço do Boi Gordo e Custo de Confinamento. Para cada combinação dessas variáveis estocásticas, foram estimados fluxos de caixa para o pecuarista. Dada a estrutura heterogenia das propriedades existentes no país, utilizou-se o fluxo de caixa operacional unitário, ou seja, por animal, com objetivo de capturar de forma mais abrangente o valor adicionado pela opção do confinamento estratégico. O valor da opção é obtido por meio do fluxo de caixa diferencial, ou seja, comparando-se o fluxo de caixa do produtor na situação na qual só existe a opção de engorda extensiva (pelo pasto) com o outro fluxo de caixa incluindo a opção de engorda intensiva em confinamento estratégico.

Na Tabela 3, são mostradas as estruturas dos fluxos de caixa estimados em que: o Preço Spot é representado pela variável preço do Boi Gordo a vista em R\$/@; Peso é o ganho de peso acumulado via nutrição a pasto em @; Δ Peso Confinamento é a variação acumulada do ganho de peso utilizando sistema de confinamento mensurado em @; Custo de Aquisição são os custos de aquisição do animal que equivale ao preço de venda do Boi Magro; Custos Operacionais são referentes aos custos em uma propriedade rural em R\$/animal; e Custo de Confinamento mensurado em R\$/@.

Tabela 3 – Fluxos de Caixa Estimados para Engorda no Pasto e no Confinamento

Fluxo Pasto	Fluxo Confinamento
Preço Spot x Peso	Preço Spot x Peso
	(+) Δ Peso Confinamento
(-) Custo de Aquisição	(-) Custo de Aquisição
(-) Custos Operacionais	(-) Custos Operacionais
	(-) Custos Confinamento x Δ Peso Confinamento
(=) Fluxo Pasto	(=) Fluxo Confinamento

O custo de aquisição reflete o investimento inicial na aquisição do animal antes das características de peso e idade para abate. Neste estudo, utilizaram-se valores de mercado do boi magro para refletir o custo de oportunidade entre introduzir o animal na etapa de engorda, transformando-o em Boi Gordo, ou na venda do mercado a vista desse animal.

Os custos operacionais de âmbito nacional em R\$/hectare/ano foram cedidos pelo CEPEA (CEPEA/ESALQ, 2014). Os custos servem como base de dados para acompanhamento do índice de preços dos insumos utilizados na produção da pecuária brasileira, também elaborados pelo CEPEA (2014). Os valores acima foram adaptados para refletir os custos unitários por animal com base na razão de 1,08 animais por hectare, conforme IBGE (2006).

- Custo de aquisição (R\$/animal): 1.170,00
- Custo Operacional Efetivo (COE) (R\$/animal/ano): 303,65

Os custos de aquisição e operacionais são corrigidos pela taxa livre de risco do projeto para refletir o custo do capital aplicado ao longo da duração ao longo do período de exercício da opção. De maneira geral, o ganho de peso esperado no confinamento tem se elevando ao longo do tempo, devido a melhoramento das técnicas nutricionais, melhor planejamento e investimentos. Corrêa (1996, p.61) estimara que o Ganho de Peso Diário (GPD) devesse se situar entre 0,7 kg a 1,2 kg, no entanto Nogueira e Coan (2011) retratam que confinadores trabalham com rações planejadas para obter GPD entre 1,7 kg a 1,8 kg.

De acordo com Barbosa (2011), em subsistemas melhorados, em que há maiores investimentos em rações e suplementos, o GPD médio reside entre 0,6 kg e 0,8 kg na época das águas e 0,5 kg e 1,0 kg época da seca. Utilizaram-se, na modelagem, valores de GPD em confinamento de 1,7kg, e 0,7kg para nutrição a pasto.

4.3 RESULTADOS E SENSIBILIDADES

Utilizando-se a metodologia descrita anteriormente, foi apurado o valor de R\$ 86,51/animal referente ao valor da opção real de confinamento estratégico. Esse valor representa 7,4% do valor utilizado para o Boi Magro no cenário base.

Como a atividade de pecuária de corte está presente em todos os estados do Brasil, foi identificada a necessidade de sensibilizar as principais premissas utilizadas no modelo, com objetivo de verificar a elasticidade do valor da opção de confinamento. A Figura 7 mostra o valor da opção confinamento estratégico expressando os principais parâmetros descritos acima. Em destaque é mostrado o valor da opção com os parâmetros base utilizados.

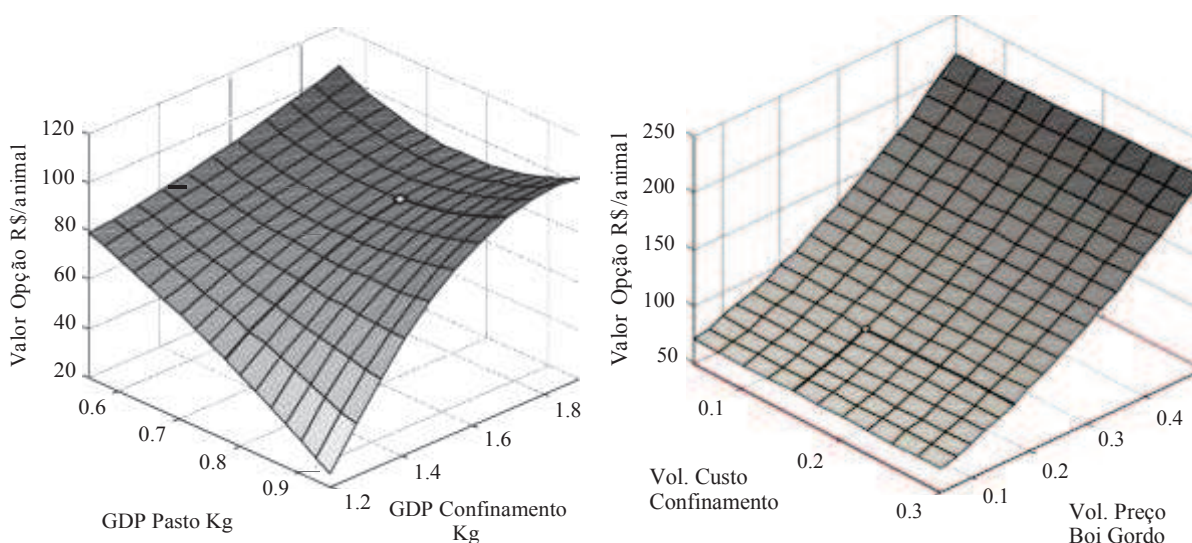


Figura 7 - Sensibilidades do valor da opção de confinamento estratégico ao GPD e volatilidades

Pode ser destacada a alta amplitude do valor do confinamento estratégico ao sensibilizar os parâmetros operacionais: Ganho de Peso tanto no pasto quanto no confinamento. Além disso, pode ser apontada a alta sensibilidade do valor da opção à volatilidade do Preço do Boi Gordo, e em contrapartida a baixa sensibilidade a volatilidade do Custo de Confinamento.

Para efeito de comparação, as séries também foram modeladas utilizando o modelo quadrinomial sugerido em Copeland e Antikarov (2003) no qual os dois fatores de incerteza são modelados como um processo de difusão Geométrico Browniano. A Tabela 4 retrata o valor da opção de confinamento estratégico comparando os resultados dos dois processos estocásticos. Como pode ser observado, há diferença de 29% dos resultados obtidos entre os dois processos, o que aumenta ainda mais a relevância da definição do processo estocástico a ser utilizado na modelagem por meio da Teoria de Opções Reais.

Tabela 4 - Comparação dos Resultados entre os Processos de MRM e MGB

Processo estocástico	MRM	MGB	Δ%
Valor da opção de confinamento estratégico (R\$/animal)	86,51	111,29	29%

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

No presente artigo é exposto ferramental teórico para utilização da Teoria das Opções Reais (TOR) aplicado em um segmento com elevado grau de incerteza e alta capacidade de interferência do tomador de decisões: o segmento agropecuário de gado de corte.

A estrutura horizontalizada da pecuária no país intensifica o risco de mercado dos principais insumos e produtos finais, aqui retratados pelas variáveis incertas de preço de venda e custo de alimentação. Mas, ao mesmo tempo, permite que o produtor tenha margem para escolher o melhor sistema nutricional, por exemplo, alimentação a pasto ou via sistemas de confinamento, como também a postergação da venda do animal em condições adversas de mercado. Foi utilizada a abordagem da TOR para precificar o valor da estratégia de decisão de confinamento nesse ambiente.

Os resultados do estudo confirmam que a TOR consegue capturar o valor financeiro da flexibilidade de confinamento estratégico do produtor rural. Além disso, fica evidente que a flexibilidade gerencial é uma poderosa ferramenta tanto de maximização de valor quanto de proteção contra incertezas exógenas para o pecuarista (tal como um *hedge*).

No entanto também fica evidente que o correto exercício dessas flexibilidades, ou seja: o timing do exercício de confinamento, frente ao comportamento das incertezas mapeadas, é de fundamental importância para essa maximização de valor. Vale lembrar que a flexibilidade gerencial de tempo do confinamento é de fato exercida pelo pecuarista, porém de forma intuitiva e sem alguma forma de mensuração correto do valor financeiro advindo desta. Também podemos destacar a alta sensibilidade do valor da opção real à volatilidade do preço do Boi Gordo, sendo este o principal fator de risco do pecuarista.

A metodologia do presente artigo, por ampliar a capacidade de mensuração do real valor da atividade da pecuária, pode ser aplicada em estudos de gerenciamento de risco da atividade, assim como na avaliação da atividade em propriedades especializadas em outras etapas do processo produtivo da carne, como a cria e recria.

Outros setores da economia e agropecuária também podem se beneficiar da metodologia apresentada, mensurando o valor de flexibilidades gerenciais já conhecidas tais como a

possibilidade de alteração de produção entre etanol e açúcar, a partir da mesma fonte de insumo: cana-de-açúcar, entre outros.

REFERÊNCIAS

ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2000.

BARBOSA, F. A. **Confinamento**: planejamento e análise econômica. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_confinamento_analise_economica.htm>. acesso em: 25 set. 2012.

BARBOSA, F. A. et al. Dietas de alto concentrado para terminação de bovinos de corte. In: ENCONTRO DOS MÉDICOS VETERINÁRIOS E ZOOTECNISTAS DOS VALES DO MUCURI, JEQUITINHONHA E RIO DOCE, 32., 2011, Teófilo Otoni (MG). **Anais...** Teófilo Otoni: SRMVVM, 2011.

BASTIAN-PINTO, C. L.. **Modelagem de opções reais com processos de reversão à média em tempo discreto**: uma aplicação na indústria brasileira de etanol. 2009. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica Rio de Janeiro (PUC-RJ), Rio de Janeiro, 2009.

BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; HAHN, W. J. Flexibility as a source of value in the production of alternative fuels: the ethanol case. **Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 411-422, 2009.

BIGMA Consultoria. Disponível em: <<http://www.bigma.com.br>>. Acesso em: 28 nov. 2012.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. **The Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 637-654, 1973.

BOYLE, P. A. A lattice framework for option pricing with two state variables. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 23, n. 1, p. 1-12, 1988.

BRANDÃO, L. E. T.; SARAIVA, E. C. G. The option value of government guarantees in infrastructure projects. **Construction Management and Economics**, v. 26, n. 11, p. 1171-1180, 2008.

BRANDÃO, L. E. T.; DYER, J. S. Valuing real options projects with correlated uncertainties. **Journal of Real Options**, v. 1, p. 18-32, 2011.

BUENO, R. L. S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning. 2011.

CEPEA/ESALQ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Real options**: a practitioner's guide. New York: Texere, 2003.

CORREA, A.N.S. **Gado de corte**: o produto pergunta, a Embrapa responde. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 208p.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. **Journal of financial Economics**, v.7, n. 3, p.229-263, 1979.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994.

FORTUNATO, G. et al. Valor da opção de abandono em lançamentos imobiliários residenciais. **RAC-Eletrônica**, v. 2, n. 3, p. 531-545, 2008.

GUEDES, J. F. B. **Avaliação de diferentes custos de alimentação para bovinos nelore terminados em sistemas de confinamento e semi-confinamento**. 2011. 35 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), 2011.

HAHN, W. J. **A discrete-time approach for valuing real options with underlying mean-reverting stochastic processes**. 2005. PhD Dissertation, The University of Texas, Austin (TEX), 2005.

HAHN, W. J.; DYER, J. S. Discrete time modeling of mean-reverting stochastic processes for real option valuation. **European Journal of Operational Research**, v. 184, n. 2, p. 534-548, 2008.

HE, H. Convergence from discrete to continuous-time contingent claims prices. **Review of Financial Studies**, v. 3, n. 4, p. 523-546, 1990.

HO, T. S.; STAPLETON, R.; SUBRAHMANYAM, M. Multivariate binomial approximations for asset prices with nonstationary variance and covariance characteristics. **Review of Financial Studies**, v. 8, n. 4, p. 1125-1152, 1995.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: agricultura familiar, Brasil, grandes regiões e unidades da federação**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2006.

IEL; CNA; SEBRAE. **Estudo sobre a eficiência econômica e competitiva da cadeia agroindustrial da pecuária de corte no Brasil**. Brasília: IEL, 2000. p. 248.

LOPES, M. A.; MAGALHÃES, G. P. Análise da rentabilidade da terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 57, n. 3, p. 374-379, 2005.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acesso em: 20 set. 2012.

MAYA, F. L. A. **Produtividade e viabilidade econômica da recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensivamente com e sem o uso da irrigação**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba (SP), 2003.

MEDEIROS, A. L.; MONTEVECHI, J. A. B. Modelagem da equação de previsão do preço da arroba de boi gordo através da regressão linear múltipla. In: SIMPEP, 12., 2005, Bauru (SP). **Anais...** Bauru: SIMPEP, 2005.

MERTON, R. C. Theory of rational option pricing. **The Bell Journal of Economics and Management Science**, v. 4, n. 1, p. 141-183, 1973.

NELSON, D. B.; RAMASWAMY, K. Simple binomial processes as diffusion approximations in financial models. **Review of Financial Studies**, v. 3, n. 3, p. 393-430, 1990.

NOGUEIRA, M. P.; COAN, R. M. Avaliação e decisão no confinamento. In: ENCONTRO DE CONFINAMENTO: GESTÃO TÉCNICA E ECONÔMICA, 6., 2011, Jaboticabal (SP). **Anais...** Jaboticabal, 2011. p. 25-56.

OZORIO, L. M. et al. Investment decision in integrated steel plants under uncertainty. **International Review of Financial Analysis**, v. 27, p. 55-64, 2013.

PADDOCK, J. L.; SIEGEL, D. R.; SMITH, J. L. Option valuation of claims on real assets: the case of offshore petroleum leases. **Quarterly Journal of Economics**, v. 103, n. 3, p. 479-508, 1988.

PINDYCK, R. S. The long-run evolution of energy prices. **Energy Journal**, v. 20, n. 2, p. 1-27, 1999.

SCHWARTZ, E. S.; SMITH, J. E. Short-term variations and long-term dynamics in commodity prices. **Management Science**, v. 46, n. 7, p. 893-911, 2000.

SILVEIRA, R. L. F. **Análise das operações de Cross Hedge do bezerro e do Hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba (SP), 2002.

TOURINHO, O. A. F. **The valuation of reserves of natural resources: an option pricing approach**. 1979. PhD Dissertation (Doctoral) - University of California, Berkeley (CA), 1979.

USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/>>. Acesso em: 15 fev. 2013.