

# PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES SOBRE CONTRATOS FUTUROS DE BOI GORDO NA BM&F: ANÁLISE DOS MODELOS BINOMIAL E BLACK E SCHOLES

Felippe Clemente\*

Leonardo Bornacki de Mattos\*\*

**RESUMO:** Para a atividade pecuária, o risco pode ser percebido na engorda dos animais, que por necessitar de um longo período, o produtor não consegue determinar previamente por qual preço poderá vendê-los ao frigorífico na época do abate. Assim, quando o pecuarista vender os bois, poderá encontrar um preço que não remunere sua atividade ou não garanta seu custo de produção. Dessa forma, ele precisa de algum mecanismo de seguro que lhe assegure antecipadamente um preço que possa recompensar seu investimento e o custeio de sua produção. Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo a precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&F utilizando os modelos binomiais e Black Scholes. Os resultados evidenciaram que, para as opções de compra, o modelo de Black-Scholes foi o modelo que apresentou os melhores resultados com o uso tanto da volatilidade histórica quanto da volatilidade implícita. Para as opções de venda, o modelo Binomial foi o que melhor precificou as opções com as volatilidades histórica e implícita.

**Palavras-Chave:** mercado de opções, modelos de precificação, boi gordo.

**Classificação JEL:** G32

**ABSTRACT:** For the cattle industry, the risk can be perceived in the animal fattening. Once the animal's needs a long period to get fat, the producer can't determinate previously for what price he may sell the animals to the fridge at the time of slaughter. So when the producer sells the cattle, he can find a price that doesn't pays his activity or doesn't guarantee his production cost. This way the producer needs a safe mechanism that ensures in advance a price that may reward his investment and his production costs. In this

---

\* Estudante do Mestrado em Economia Aplicada da Universidade Federal de Viçosa - felippe.clemente@yahoo.com.br

\*\* Professor do Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa - lbmattos@ufv.br

context, this paper aims the pricing options on the cattle futures contracts on BM&F using the binomial and Black Scholes models. The results showed that, for purchasing the Black-Scholes model was the model that showed the best results with the use of both historical volatility and implied volatility. For sales options, the options with historical and implicit volatilities were best priced by the binomial model.

**Keywords:** options markets, pricing of options models, live cattle.

**JEL Code:** G32

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária bovina chegou ao Brasil no século XVI com os primeiros imigrantes portugueses. Porém, o mercado passou por importantes transformações em um período recente. Segundo Urso (2007), a distribuição de carne bovina no mercado doméstico se firmou através das grandes redes de supermercados, que negociavam 3 milhões de cabeças em 2000, passando para 7,8 milhões de cabeças negociadas em 2006. Já no ano de 2008, o país passou a ter o maior rebanho bovino comercial do mundo, com 183 milhões de cabeças, distribuídas em 2 milhões de estabelecimentos rurais, que ocupam 180 milhões de hectares (BM&F, 2009).

No comércio internacional, o Brasil era, em 2000, o sexto maior exportador mundial de carne bovina; em 2003, passa a ocupar a segunda posição; e, em 2004, consolidou-se como maior exportador mundial. As exportações físicas passaram de 492 mil toneladas em 2000 para 1,51 milhões de toneladas em 2006, gerando um aumento de 206,9%. No ano de 2007, o setor vivenciou a sua primeira abertura de capital através do Grupo JBS-Friboi, Marfrig e Minerva<sup>1</sup>, o que fortaleceu ainda mais o setor no país (URSO, 2007).

---

<sup>1</sup> As empresas JBS-Friboi, Marfrig e Minerva fazem parte das 10 maiores empresas brasileiras para abate de boi.

No entanto, mesmo com essa consolidação do mercado bovino, a pecuária de corte, o processamento e a comercialização de carne apresentam riscos substanciais de preço para os participantes dessa cadeia produtiva, os quais precisam ser minimizados utilizando, por exemplo, o mercado futuro.

BM&F (2009) mostra que o principal risco para a agropecuária é o risco associado às flutuações de preço das mercadorias. Para a atividade pecuária, o risco pode ser percebido na engorda dos animais, que por necessitar de um longo período, o produtor não consegue determinar previamente por qual preço poderá vendê-los ao frigorífico na época do abate. Dentre as causas desta imprevisibilidade na determinação dos preços estão as variações nos preços da carne suína ou do frango; aumento nos preços dos insumos utilizados no processo de engorda do gado; interrupção das compras externas por receio de doenças etc. Assim, quando o pecuarista vender os bois, poderá encontrar um preço que não remunere sua atividade ou não garanta seu custo de produção. Dessa forma, ele precisa de algum mecanismo de seguro que lhe assegure antecipadamente um preço que possa recompensar seu investimento e o custeio de sua produção.

O mercado de opções é um mercado que pode ser útil para os *hedgers*<sup>2</sup> e especuladores<sup>3</sup>, como mais um mecanismo de redução de risco e fonte de retornos. Neste mercado, o detentor tem o direito (mas não o dever) de vender um volume do ativo referido no contrato futuro a um preço predeterminado (preço de exercício) no vencimento do contrato (TAVARES, 2006). De

---

<sup>2</sup> Segundo Hull (2005), *hedgers* utilizam mercados de opções sobre futuros para reduzir a exposição ao risco de oscilações de uma variável de mercado em período futuro.

<sup>3</sup> O mesmo autor define especulador como o agente capaz de empregar contratos de opções sobre futuros para apostar em determinada direção dessa variável.

acordo com Hull (2005), existem dois tipos de opções negociadas – opções de compra e opções de venda; uma opção de compra (*call*) dá ao seu titular o direito de comprar o objeto por um preço específico, durante um período de tempo estipulado. Na opção de venda (*put*) o detentor tem o direito de vender algo em certa data por determinado preço. A data especificada no contrato é conhecida como data de vencimento ou data de exercício. Ainda, o mesmo autor classifica as opções como opções americanas e européias. A primeira pode ser exercida a qualquer hora, até a data de vencimento, e a segunda só pode ser exercida na data de vencimento.

Hull (2005) evidencia que o mercado de ações sobre futuros tem suas primeiras negociações no século XVIII em países da Europa e Estados Unidos. Nos primeiros anos, o mercado não obteve total confiança devido a certas práticas antiéticas. Uma delas refere-se a casos em que corretores recebiam opções sobre determinadas ações para que estas fossem recomendadas a seus clientes.

Em 1973, a CBOT criou a *Chicago Board Options Exchange* com o objetivo de negociar opções sobre ações. A partir daí, diversas empresas passaram a negociar opções, o que fez o volume de negociações com opções crescer rapidamente. Com isso, no início da década de 80, o número de ações, objeto dos contratos de opções negociados a cada dia, excedeu o montante de transações diárias observado no mercado físico da Bolsa de Nova Iorque. Esses resultados permitiram desenvolver, nos Estados Unidos, o mercado de opções sobre taxas de câmbio, índices de ações e contratos futuros. Em 1982 a *Commodity Futures Trading Commission* autorizou a negociação de opções sobre futuros, sendo aprovada em caráter permanente em 1987 (HULL, 2005).

A maioria das bolsas que oferecem contratos futuros também dispõe para negociação contratos de opções, fazendo

com que a popularidade desses contratos junto aos investidores cresça rapidamente.

Portanto, para ajudar o pecuarista a administrar com eficiência os riscos do mercado, os mercados de derivativos, especialmente o mercado de opções, surgem como gestores de riscos da cadeia produtiva como um todo, tornando-se necessário uma análise mais detalhada sobre a precificação de opções. Devido a poucos estudos no Brasil sobre o tema, buscase analisar os principais modelos de precificações de opções existentes e aplicá-los ao setor bovino brasileiro.

Segundo Tonin (2009), uma das razões que explicam a aversão de muitos agentes ao mercado de opções é a falta de familiaridade com os modelos de precificação existentes, essenciais para a tomada de decisão e gerenciamento de risco. Diversos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos com o objetivo de calcular o prêmio a ser pago em um contrato de opção, que é o problema central para a utilização dos contratos.

O modelo de precificação mais utilizado foi desenvolvido por Fisher Black e Myron Scholes no ano de 1973, e é muito aceito no mercado financeiro de opções devido a sua simplicidade de cálculo (BLACK e SCHOLEES, 1973).

Os estudos empíricos realizados no Brasil utilizando a fórmula de Black destacam a importância da volatilidade e da baixa liquidez como influenciadores no cálculo do preço do ativo objeto. De acordo com Leite (2000), que analisou a precificação de opções de café, a baixa liquidez determina o lançamento de altos prêmios pelo risco, o que reflete em uma alta volatilidade implícita. Ramos da Silva e Macedo (2003) evidenciaram que o modelo superavalia o prêmio das opções de venda quando se utiliza a volatilidade histórica e subavalia quando é empregada no cálculo a volatilidade implícita. Tonin (2009) identificou que a fórmula de Black apresenta os melhores resultados para a precificação das opções de compra utilizando a volatilidade implícita e diferentes períodos de maturidade.

Diante disso, cabe destacar a detecção de desvios, como a volatilidade, dos valores de opções estabelecidos no mercado em relação aos valores que são obtidos a partir do modelo de Black e Scholes. Devido ao fato da volatilidade não ser constante e variar de forma aleatória e imprevisível, em alguns momentos ela pode afetar positivamente o valor do ativo objeto, e em outros negativamente (TONIN, 2009).

Nesse contexto, surge o seguinte questionamento: Quais são os melhores modelos de precificação existentes na atualidade que possam ser utilizados como ferramentas na administração de risco dos agentes envolvidos no setor pecuário bovino?

O mercado de opções é o principal assunto desse trabalho, especificamente, a comparação de diferentes metodologias de avaliação do preço “justo” de uma opção. O direcionamento do trabalho é a busca de ferramentas de gestão de risco para todos os possíveis agentes que pretendem atuar no mercado de opções de boi gordo na BM&F.

Espera-se que, com isso, seja possível encontrar uma alternativa para a solução dos desvios da fórmula de Black e disponibilizar informações relevantes acerca da precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo. Esses resultados podem induzir novos agentes a atuarem nesses mercados, elevando a liquidez e a eficiência dos contratos de opções.

Assim, o objetivo geral desse trabalho é avaliar a aplicabilidade dos modelos de precificação Binomial e Black e Scholes, identificando se os valores teóricos obtidos nesses modelos são compatíveis com os preços efetivos de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&F.

Para alcançar o objetivo, o artigo está estruturado em três seções, além desta introdução. Na segunda seção, apresenta-se a metodologia do trabalho e a base de dados utilizada. A terceira seção mostra os principais resultados obtidos e na última seção, as conclusões do estudo.

## 2 METODOLOGIA

Os primeiros trabalhos sobre precificações de opções surgem no século XIX. Nesse contexto, Courtualt *et al.* (2000) evidenciam que a primeira estimação analítica dos prêmios de opções é atribuída ao matemático francês Louis Bachalier, que marcou o início da utilização dos processos estocásticos no campo financeiro.

O tema precificação de opções é retomado por Boness no ano de 1964 através de algumas inovações metodológicas. Baum *et al.* (1999) evidencia que a principal contribuição de Boness foi reconhecer que o valor de uma opção é função do preço do ativo objeto e do preço de exercício, representado pela seguinte expressão:

$$C = S_0 \text{ Prob}(1) - X \text{ Prob}(2)e^{-rt} \quad (1)$$

em que,

Prob (1) é a sensibilidade do preço da opção à mudanças no preço do ativo objeto;

Prob (2) é a probabilidade do preço do ativo exceder o preço de exercício no vencimento;

$r$  é a taxa de juros nominal;

$t$  é o tempo de maturidade da opção;

$S_0$  é o preço do ativo objeto;

$X$  é o preço de exercício no vencimento.

Modigliani e Miller (1958) também contribuem com o sistema financeiro, desenvolvendo o teorema Modigliani-Miller, que demonstra que as empresas não têm que ajustar suas decisões às preferências de risco dos diversos investidores e que a política de dividendos das firmas não afeta o seu valor de mercado.

Dessa forma, a teoria das finanças se diversifica, incorporando instrumentos matemáticos e estatísticos sofisticados e envolvendo na análise dimensões intertemporais e

incerteza. Para o mercado de opções, um grande salto paradigmático foi dado por Fisher Black e Myers Scholes (1973) e Cox, Ross e Rubinstein (1979) na elaboração de instrumentais analíticos para avaliação de valor do prêmio das opções.

## 2.1 O Modelo Black e Scholes

Fisher Black e Myers Scholes desenvolveram, em 1973, um modelo teórico para precificação de opções, inicialmente utilizado para o cálculo do valor de uma opção de compra do tipo européia, exercida sobre um objeto que não paga nenhum dividendo e é livremente negociada no mercado (HULL, 2005).

Para implementar a fórmula de precificações de opções, Black e Scholes lançam diversas premissas básicas simplificadoras da realidade, que, segundo Leuthold *et al.* (1989), são:

- O comportamento do preço do ativo segue uma distribuição lognormal, com volatilidades dos retornos diários constantes;
- Não há custos operacionais nem impostos, com ativos perfeitamente divisíveis;
- O ativo objeto não receberá dividendos durante a vida da opção;
- Não há oportunidades de arbitragem sem risco;
- Os empréstimos são realizados à taxa de juros livre de risco.

Segundo Hull (2005), a fórmula de Black (1976), seguindo os pressupostos do modelo B-S consiste em uma equação fechada que considera o tempo contínuo na análise.

Com a aplicação do cálculo integral, algumas noções de probabilidade e demais considerações, as fórmulas de Black e Scholes para *calls* e *puts* européias para opções sobre futuros podem ser simplificadas para:



$$c = e^{-rT} [FN(d_1) - XN(d_2)] \quad (2)$$

$$p = e^{-rT} [XN(-d_2) - FN(-d_1)] \quad (3)$$

em que,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{K}{S}\right) + \left(b + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} e, \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{K}{S}\right) + \left(b - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (5)$$

dado que,

$c$  e  $p$  são o preço de uma *call* e *put* europeia, respectivamente;  
 $F$  e  $K$  são o preço do contrato futuro e o preço de exercício da opção, respectivamente;

$N(x)$  é a função de densidade de probabilidade acumulada de uma normal padrão;

$b$  é o custo de carregamento e,

$\sigma$  é a volatilidade.

As equações (2) e (3) são consideradas na literatura como o modelo de Black e Scholes Generalizado aplicado para as opções de compra e venda, respectivamente e, considerando  $b = 0$ , equivale à fórmula de Black (1976) para precificar opções sobre contratos futuros, que é o foco desse trabalho.

## 2.2 O Modelo de Árvores Binomiais

O primeiro modelo de árvores binomiais foi desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein (1979), baseado na idéia de que o preço do ativo-objeto segue um processo binomial multiplicativo ao longo de sucessivos intervalos de

tempos discretos. O termo binomial ou árvore de decisão binomial deve-se à premissa do modelo, de que a partir de determinado ponto existe a possibilidade de ocorrer movimentos ascendentes ou movimentos descendentes no preço (MIKOSZEWSKI, 2003).

Segundo Hull (2005), esse modelo trata de diagrama que representa os diferentes caminhos que podem ser seguidos pelo preço do ativo-objeto durante a vida da opção. Tonin (2009) destaca que o modelo de árvores binomiais<sup>4</sup>, é precursor da abordagem “*lattice*” multinomial, também conhecida como método numérico de precificação, que avalia o prêmio das opções utilizando o tempo discreto.

Os modelos binomiais são considerados muito intuitivos e flexíveis, podendo ser aplicados tanto para opções europeias como para as americanas, que pagam ou não dividendos, derivativos de taxas de juros. Além de não necessitar de grande sofisticação matemática, o modelo provou ser também eficiente na prática, depois de testes nos mercados americano e europeu. Como o modelo é de fácil desenvolvimento, acredita-se que pode ser aplicável a todos os mercados, inclusive o brasileiro (MIKOSZEWSKI, 2003).

Desse modo, a construção de uma árvore binomial para uma *call* considerando hipoteticamente que o tempo de maturidade é de um período,  $C_u$  é o valor da opção de compra se o preço do ativo objeto seguir para  $uS$ , e  $C_d$  é valor da opção, caso o preço do ativo objeto seguir para  $dS$ . No modelo binomial também é criada uma carteira de *hedging* composta de  $\Delta$  do ativo objeto e uma quantia  $B$  de ativos que tenham retorno igual a taxa livre de risco ( $r$ ).

Essa figura representa o valor da opção de compra ( $C$ ) baseado no movimento do ativo objeto e a carteira de *hedging* (com valor equivalente as opções de compra).

---

<sup>4</sup> Pode ser encontrados na literatura como modelo CRR.

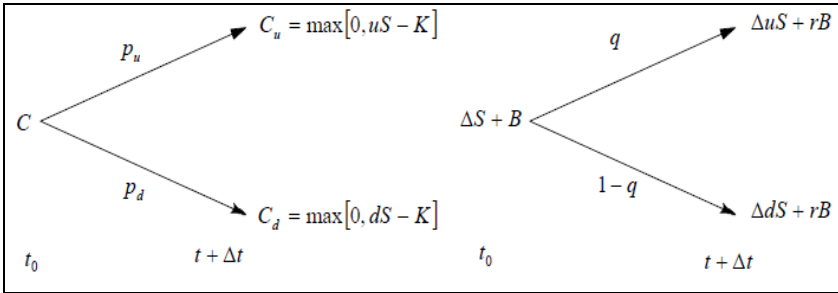


Figura 1 – Construção da carteira de *hedging* do modelo binomial

Fonte: Tonin (2009)

Assim, a fórmula do modelo binomial para *call* pode ser expressa da seguinte forma:

$$C = [pC_u + (1 - p)C_d] / r \quad (5)$$

O valor da opção de compra pode ser interpretado como a expectativa do valor futuro descontado em um mundo neutro de risco.

### 2.3 Cálculo da Volatilidade Histórica

Dentre os parâmetros utilizados nos modelos de precificações de opções, a volatilidade é a única que requer estimação. Com isso, um método amplamente empregado consiste em calcular a volatilidade a partir de uma série histórica de preços. De acordo com Purcell e Koontz (1999), o cálculo da volatilidade a partir de uma série temporal histórica dos preços diários do fechamento do ativo-objeto, pode ser obtido com a aplicação da fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2} \quad (6)$$

em que,

$s$  é a volatilidade histórica;

$n$  é o número de variações nos preços;

$r_i = \ln(S_i / S_{i-1})$ , sendo  $S_i$  o preço do ativo no final do  $i$ -ésimo período, com média  $\bar{r}$ .

Em termos anualizados, a volatilidade pode ser expressa como:

$$\sigma = s\sqrt{252} \quad (7)$$

em que 252 representa o número de dias úteis em um ano.

## 2.4 Cálculo da Volatilidade Implícita

A volatilidade implícita está associada ao preço da opção. Segundo Hull (2005), ao igualar o valor teórico de uma opção com o preço de mercado da mesma, obtêm-se o parâmetro de volatilidade.

Não é possível estabelecer uma expressão analítica para o cálculo da volatilidade implícita, sendo que só é possível obter uma aproximação precisa desse parâmetro pelo método de “tentativa e erro”.

## 2.5 Fonte de Dados

Os dados utilizados correspondem aos valores diários de prêmios pagos pelas opções de compra e opções de venda sobre contratos futuros de boi gordo e dos preços dos contratos futuros subjacentes negociados na BM&F durante os meses de janeiro, julho e dezembro de 2010.

Essa base de dados foi coletada junto à BM&F e contém todas as séries de opções de compra e venda de boi gordo, as datas de negociação, o código da opção negociada, quantidade de contratos em aberto, número de negócios e número de contratos negociados e o valor financeiro transacionado. A taxa de juros utilizada como *proxy* da taxa livre de risco será a taxa de rendimento da poupança anual e composta, obtida junto ao Banco Central.

### 3 RESULTADOS

Com base nos conceitos apresentados na metodologia proposta, analisaram-se os resultados de apreçamento dos seguintes modelos de precificação: Binomial e Black e Scholes. Para cada modelo são utilizados estimadores de volatilidade histórica e volatilidade implícita.

De posse dos preços teóricos calculados pelos modelos de precificação selecionados, parte-se para a comparação com os preços efetivamente observados. Como medida de desempenho dos modelos de precificação, utiliza-se o erro quadrático médio (EQM), medida mais robusta para analisar os erros de precificação, mais sensível às observações aberrantes da volatilidade. Desse modo, no presente trabalho as *calls* e *puts* foram analisadas separadamente, em que, para cada tipo de opção, busca-se analisar os erros de precificação, considerando a utilização da volatilidade histórica e da volatilidade implícita.

#### 3.1 Precificações das Opções de Compra

Para avaliar as opções de compra sobre contratos futuros de boi gordo negociados na BM&F no período de análise, foram comparados os preços teóricos com os preços de mercado. A Tabela 1 sintetiza os valores médios observados.

Tabela 1 – Resultados da precificação das opções de compra com volatilidade histórica e implícita -

Erro Quadrático Médio			
VHIS		VOI	
BI	B-S	BI	B-S
1.631	1.628	2.406	1.799

Fonte: Dados da Pesquisa

\*VHIS é a volatilidade histórica; VOI é a volatilidade implícita; BI é o resultado do modelo binomial; e B-S é o resultado do modelo Black-Scholes.

Para a volatilidade histórica, o modelo Black-Scholes apresentou o menor erro quadrático médio. De modo geral, pode-se classificar os modelos de precificação, levando em conta os resultados do EQM, na seguinte ordem: modelo de Black-Scholes e modelo Binomial. Com a utilização da volatilidade implícita, o melhor desempenho, de acordo com o EQM, é obtido pela fórmula de Black, seguido pelo modelo Binomial.

No comparativo entre o EQM das distintas metodologias, verifica-se que os resultados dos modelos com a volatilidade histórica apresentam erros quadráticos médios menores do que os resultados dos modelos com a volatilidade implícita.

Considerando os modelos de precificação, o modelo Black-Scholes com volatilidade VHIS apresentou o melhor resultado para precificação de opções de compra sobre contratos futuros de boi gordo (1,628).

### **3.2 Precificação de Opções de Venda**

No período analisado, foi negociada na BM&F uma quantidade menor de opções de venda no comparativo com as opções de compra. A Tabela 2 apresenta os erros quadráticos médios de precificação para essa modalidade de opção utilizando a volatilidade histórica e implícita.

O modelo Binomial é o que apresenta os menores erros médios de precificação. De forma geral, levando em conta a volatilidade histórica, pode-se ordenar os modelos de acordo com os menores erros quadráticos médios da seguinte forma: modelo Binomial e Black-Scholes.

Para a volatilidade implícita, o melhor desempenho, de acordo com o EQM, é obtido pelo modelo Binomial, seguido pelo modelo Black-Scholes.

Tabela 2 – Resultados da Precificação das Opções de Venda com Volatilidade Histórica e Implícita

Erro Quadrático Médio

VHIS		VOI	
BI	B-S	BI	B-S
12.376	13.410	11.863	13.358

Fonte: Dados da Pesquisa

\*VHIS é a volatilidade histórica; VOI é a volatilidade implícita; BI é o resultado do modelo binomial; e B-S é o resultado do modelo Black-Scholes.

Comparando o EQM das distintas metodologias, verifica-se que os resultados dos modelos com a volatilidade implícita apresentam erros quadráticos médios menores do que os resultados dos modelos com a volatilidade histórica.

Assim, dentre os modelos de precificação analisados no trabalho, o modelo Binomial com volatilidade VOI apresentou o melhor resultado para precificação de opções de venda sobre contratos futuros de boi gordo (11,863).

## 4 CONCLUSÕES

É reconhecida a importância histórica do setor pecuário bovino para a economia brasileira, sendo que para haver um bom desempenho do setor são necessárias mudanças institucionais, tecnológicas e de gestão vivenciadas no período recente. Para a coordenação do setor, a redução de riscos associados a oscilações adversas de preços se torna fundamental. Com isso, devido a crescente importância dos instrumentos de derivativos na gestão de risco do setor pecuário, o presente artigo objetivou-se avaliar a aplicabilidade de diferentes modelos de precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo. Além dessa preocupação, deu-se especial atenção aos

resultados com a utilização da volatilidade histórica e da volatilidade implícita.

Quanto aos resultados da precificação das opções, não é possível afirmar de modo inequívoco, com base nos testes realizados, que um dos dois modelos testados (modelo Binomial e modelo Black-Scholes) apresenta os melhores resultados para as diferentes formas de extração da volatilidade histórica e implícita. De modo geral, não há o melhor modelo de precificação, mas sim um modelo mais adequado sob condições específicas de mercado.

Assim, para as opções de compra, o modelo de Black-Scholes foi o modelo que apresentou os melhores resultados com o uso tanto da volatilidade histórica quanto da volatilidade implícita.

Para as opções de venda, o modelo Binomial foi o que melhor precificou as opções com as volatilidades histórica e implícita.

No comparativo entre as volatilidades, para as opções de venda, a volatilidade implícita apresentou os melhores resultados de precificação. Com as opções de compra, a volatilidade histórica mostrou-se mais eficiente na precificação de opções.

Enfim, dada a abrangência do presente artigo, em que o resultado de dois modelos de precificação foram analisados, levando em conta diferentes volatilidades, pode-se concluir que, para *calls*, modelos mais sofisticados, como o de Black-Scholes, apresentam uma leve melhora na precificação das opções no comparativo com o modelo Binomial. Já para *puts*, o modelo Binomial precifica melhor as opções. Adicionalmente, este artigo mostrou que os resultados da precificação são influenciados pela escolha da volatilidade utilizada.



## 5 REFERÊNCIAS

BAIDYA, T. K. N. ; CASTRO, A. L. . Convergência dos Modelos de Árvores Binomiais para Avaliação de Opções. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 01, p.17-30, 2001.

BAUM, A. E.; BEARDSLEY, C. J.; WARD, C. W. R. Derivatives Pricing Approaches to Valuation Models; Sensitivity Analysis of Underlying Factors. **The European Real Estate Society**, Sixth European Conference, Athens, Greece, p. 22-25, June 1999.

BERNSTEIN, P. L. **Desafio aos deuses**: a fascinante história do risco. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **Journal of Political Economy**, v. 81, n.3, pp. 637-659, May/June, 1973.

BM&F. Bolsa de Mercadorias e Futuros. Futuros de Boi Gordo e Bezerro. 2009.

BOYLE, P. P. Option Valuation Using a Three Jump Process. **International Option Journal**, n. 3, p. 7-12, 1986.

COSTA, A. A. **Condições para implantação do contrato futuro de arroz no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2008. 117 p.

COURTUALT, J. M.; KABANOV, Y.; BRU, B.; CRÉPEL, P. Louis Bachelier on the Centenary of Théorie de la Speculation. **Mathematical Finance**. Blackwell Publishers Inc. vol. 10, n.3, p. 339-353, 2000.

COX, J.C.; ROSS, S.A.; RUBINSTEIN, M. Options Pricing: A Simplified Approach. **Journal of Financial Economics**, n.7, pp. 229-263, 1979.

FIGLEWSKI, S.; GAO, B. The Adaptive Mesh Model: A New Approach to Efficient Option Pricing. **Journal of Financial Economics**, n.53, p. 313-351, 1999.

GESKE, R. The Valuation of Compound Options. **Journal of Financial Economics**, n.7, p. 63-81, 1979.

HULL, J. C. **Fundamentos dos Mercados Futuros e de Opções**, 4. ed. rev. e. ampl. – São Paulo: Bolsa de Mercados & Futuros, 2005.

LEITE, D. R. S. **Opções sobre contratos futuros de café na BM&F: teste de modelos de precificação**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LEUTHOLD, R. M.; J. C. JUNKUS, J. C.; CORDIER, J. E. **The theory and practice of futures markets**. Lexington Books, 1989, 410 p.

LUCCAS, A. U. **Modelo de Precificação do Opções com Saltos: Análise Econométrica do modelo de KOU no Mercado Acionário Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 189 p.

MARKOWITZ, H. Portfolio Selection. **The Journal of Finance**, vol. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.

MALLIARIS, A. G. The Black-Scholes Option Pricing Model. **Companion to Financial Derivatives**. Robert Kolb, James Overdahl, eds., Palgrave, Forthcoming. October, 2007.

MARQUES, P. V.; MELLO, P. C. **Mercados Futuros de commodities agropecuárias**. São Paulo, Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1999. 208p.

MATSUMOTO, A. S.; BRITO, D. B. V. Análise do efeito da correlação entre a volatilidade e o preço do ativo no apreamento pelo modelo de Black & Scholes. In: 6º Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, São Paulo, 2006.

MERTON, R. C. Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. **Journal of Financial Economics**, n.3, p. 125-144, 1976.

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 de Controladoria e Contabilidade) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 200p.

PURCELL, W. D.; KOONTZ, S. R. **Agricultural futures and options: principles and strategies.** 2. ed. New Jersey. Prentice Hall, 1999.

RAMOS DA SILVA, T. J.; MACEDO, M. A. S. Opções sobre contratos futuros de café arábica: uma avaliação da aplicabilidade do modelo de Black & Scholes. In: **Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**, Bauru, SP, 2003.

SASSANTINI, R.; SIQUERIA, J. O. Precificação de opções europeias e exóticas por simulação de Monte Carlo. In: **III Seminário de Administração (SEMEAD)**. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da universidade de São Paulo, 1998.

SOARES, G. B. **Precificação de Opções de Telebrás: Uma comparação entre os modelos Black-Scholes e Hull-White.** Monografia (Graduação em Economia) – Faculdade de economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TAVARES, M. F. F. **O mercado futuro de suco de laranja concentrado e congelado: um enfoque analítico.** Tese (Doutorado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Porto Alegre, 2006. 279 p.

THOMAZ, J. C. A. **Solução Numérica de Equações Diferenciais para Precificação de Opções.** Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, 2005. 116 p.

TONIN, Julyerme Matheus. **Aplicabilidade dos Modelos de Precificação para as Opções sobre Contratos Futuros de Café Arábica na BM&F.** Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2009, 138 p.

URSO, F. S. P. **A cadeia da carne bovina no Brasil: uma análise de poder de mercado e teoria da informação.** Tese (Doutorado) – Escola de Economia de São Paulo. 2007. 113 p.

WIGGINS, J. B. Option Values Under Stochastic Volatility: Theory and Empirical Estimates. **Journal of Financial Economics**, v.19, p.351-372, 1987.