

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS SÓCIO-ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

Walter Fernando da Silva Arauz

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA DESENVOLVIMENTO DE SIMULAÇÃO DE
ESTRATÉGIA DE NEGOCIAÇÃO DE OPÇÕES QUE COMBINA
OPERAÇÕES ESTRUTURADAS E O MODELO DE BLACK & SCHOLES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Economia do Centro Sócio Econômico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. André Alves Portela Santos

Florianópolis

2014

Walter Fernando da Silva Arauz

**SIMULAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE NEGOCIAÇÃO DE OPÇÕES QUE
COMBINA OPERAÇÕES ESTRUTURADAS E O MODELO DE BLACK &
SCHOLES**

Trabalho de Conclusão de Curso considerado aprovado em 05 / 12 / 2014, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Economia pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Msc. João Randolfo Pontes
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Alves Portela Santos
Universidade Federal de Santa Catarina – CNM (Orientador)

Prof. Dr. Gueibi Peres Souza
Universidade Federal de Santa Catarina – CNM (Examinador)

Prof. Dr. Milton Biage
Universidade Federal de Santa Catarina – CNM (Examinador)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

A Banca Examinadora resolveu atribuir a nota 9,0 ao aluno Walter Fernando da Silva Arauz na disciplina CNM 5420 – Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Alves Portela Santos
Universidade Federal de Santa Catarina – CNM
(Orientador)

Prof. Dr. Gueibi Peres Souza
Universidade Federal de Santa Catarina – CNM
(Examinador)

Prof. Dr. Milton Biage
Universidade Federal de Santa Catarina – CNM
(Examinador)

Dedico o trabalho a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta etapa de minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

De acordo com a Associação Internacional dos Mercados de Opções (IOMA)¹, o Brasil é o país onde mais se negocia um tipo especial de derivativo: as opções sobre ações. Um método para desenvolver simulações de aplicação de estratégias de operação com opções feitas a partir de dados históricos do mercado Brasileiro é um tema que permite o desenvolvimento de uma análise teórica e empírica. Neste estudo trabalha-se com uma técnica de negociação de opções que utiliza o modelo Black - Scholes apreçamento de opções para identificar os momentos de abertura e fechamento de um determinado tipo de operação estruturada, a trava, utilizando-se séries de cotações, visando obter resultados que auxiliem a tomada de decisão sobre a execução da estratégia. Isto permite aperfeiçoar a escolha das estratégias que serão executadas, orientando essa decisão pelos resultados obtidos nas simulações, bem como aperfeiçoar as estratégias sem a necessidade de correr riscos no mercado real de opções. Observou-se também que o modelo de Black – Scholes, ao ser simulado com dados passados, fornece preços teóricos muito condizentes com a realidade.

Palavras-chave: Opções. Risco. Modelo de apreçamento. Operações estruturadas. Rentabilidade. Simulação.

¹“Conversely, on BM&FBOVESPA, the biggest market for single stock options, paid premium decreased by 6.9% despite the 11% growth rate of volumes”. (**Derivatives Markets Survey**, WFE/IOMA, 2012, p. 14).

ABSTRACT

According to the International Option Markets Association (IOMA)², Brazil is the country with the highest number of trades on a special type of derivative: stock options. A method to develop options trading strategies simulations using Brazilian market historical data is a theme that allows a theoretical and empirical analysis. In this paper, a negotiation technique that uses Black - Scholes options pricing model to determine when to start and when to end spreads, is simulated. It is done by developing a method to handle the transactions data, willing to simulate the strategy and obtain relevant results to support decision making process about whether or not to execute the simulated strategy. The results show that it is possible to improve that decision making process by taking the simulations results as reference, as well as it is evidenced the possibility of improving the strategies themselves without needing to take risks on the real option market. It is also observed that the Black - Scholes pricing model performs well when it is simulated with past data, providing very consistent to reality theoretical prices.

Keywords: Options. Risk. Pricing model. Trading Strategies. Profitability.

²“Conversely, on BM&FBOVESPA, the biggest market for single stock options, paid premium decreased by 6.9% despite the 11% growth rate of volumes”. (**Derivatives Markets Survey**, WFE/IOMA, 2012, p. 14).

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Conversão letra/mês de vencimento.....	23
Quadro 2 – Classificação de opções relativa ao preço de exercício R\$ 18,00.....	24
Quadro 3 – Opções e estatísticas descritivas.....	50
Tabela 1 - Exemplo de compra de <i>call</i> de Preço de exercício $E = R\$ 16,00$	20
Tabela 2 - Exemplo de compra de <i>put</i> de Preço de exercício $X = R\$ 16,00$	21
Tabela 3 – <i>Payoff</i> Trava de Alta com opções de compra.....	46
Tabela 4 – <i>Payoff</i> Trava de Baixa com opções de compra.....	47
Tabela 5 – Resultados da simulação para o par PETRJ18 e PETRJ19.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultado para o comprador de opção de compra.....	20
Figura 2 – Resultado para o comprador de opção de venda.....	22
Figura 3 – Smile de volatilidade	37
Figura 4 – Exemplo de superfície de volatilidade.....	37
Figura 5 – Trava de alta com opções de compra.....	46
Figura 6 - Trava de baixa com opções de compra.....	48
Figura 7 - Fluxograma do processo de simulação.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B-S – Black - Scholes

CBLC – Câmara Brasileira de Liquidação e Custódia

DI – Depósito Interbancário

VBA – Visual Basic for Applications

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2 ASPECTOS PRÁTICOS E TÉCNICOS DO MERCADO DE OPÇÕES	18
2.1 MERCADO DE OPÇÕES	18
2.1.1 Conceitos básicos	18
2.1.2 Nomenclatura	22
2.1.3 Opções dentro do dinheiro, no dinheiro e fora do dinheiro	23
2.2 O PREÇO DAS OPÇÕES	24
2.2.1 Fatores que afetam o preço de uma opção	24
2.2.2 Valor intrínseco X Valor-tempo	26
2.3 EXERCÍCIO ANTECIPADO DE OPÇÕES AMERICANAS	27
2.4 LIQUIDAÇÃO OU ENCERRAMENTO DE UMA POSIÇÃO	27
2.5 MARGEM DE GARANTIA	28
3 O MODELO DE BLACK & SCHOLES	29
3.1 PREMISSAS DO MODELO DE BLACK & SCHOLES	30
3.2 A RELEVÂNCIA DA VOLATILIDADE	33
3.3 TIPOS DE VOLATILIDADE	33
3.3.1 Volatilidade futura	33
3.3.2 Volatilidade histórica	34
3.3.3 Volatilidade implícita	34
3.4 GREGAS	37
3.5 OBSERVAÇÕES SOBRE O MODELO BLACK & SCHOLES.....	38
4 OPERAÇÕES ESTRUTURADAS	39
4.1 TRAVAS	42
4.1.1 Trava de alta com opções de compra	43
4.1.2 Trava de baixa com opções de compra	45
5 OPERAÇÕES SIMULADAS	47

5.1 DADOS UTILIZADOS	47
5.2 OPÇÕES	48
5.3 ATIVO OBJETO	48
5.4 JUROS	48
5.5 TEMPO ATÉ O VENCIMENTO	49
5.6 PREÇO TEÓRICO	49
5.7 O CÔMPUTO DO PREÇO TEÓRICO	49
5.7.1 Volatilidade implícita.....	49
5.7.2 Preço teórico	49
5.8 AS OPERAÇÕES	50
5.8.1 Os custos.....	50
5.8.2 As travas.....	51
5.8.3 Abertura das travas	53
5.8.4 Fechamento das travas.....	54
5.9 O PROCESSO	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO A – Algoritmos em VBA utilizados	67
APÊNDICE A – Tabela PETRJ18 X PETRJ19	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O mercado financeiro deve oferecer formas eficientes de gestão de capital e risco. É essencial que os participantes desses mercados entendam como eles trabalham e de que maneira podem ser usados. O gerenciamento de risco de portfólios de ativos financeiros é o tema central a ser estudado na busca deste entendimento.

Neste contexto, os mercados de derivativos serão peças cada vez mais importantes para as finanças e investimentos, pois configuram instrumentos para gerenciamento do risco de um portfólio de ativos financeiros. Existe um tipo especial de derivativo, um contrato de liquidação futura conhecido como *opção*. As opções têm especificidades que as tornam instrumentos para quem deseje gerenciar o risco de seu portfólio. Porém, o bom desempenho do agente do mercado que decidir utilizar-se destes contratos dependerá de seu grau de entendimento sobre o funcionamento dos mesmos, e, principalmente, da correta utilização destes em suas estratégias de investimento.

O desenvolvimento de técnicas e métodos que ajudem a prever os possíveis resultados de uma estratégia de investimento ocupa esforços de estudiosos e analistas do mercado financeiro, e a observação do comportamento passado dos mercados ainda configura o principal ponto de partida na elaboração de estudos desta natureza. O pesquisador laureado pelo Prêmio Nobel em Economia em 1990, Harry Markowitz, idealizador do que ao longo dos anos vem sendo uma ferramenta largamente utilizada por gestores de portfólio, o modelo de Markowitz (1952), já apontava para este aspecto quando introduziu da seguinte forma seu artigo denominado Portfolio Selection:

O processo de selecionar um portfólio deve ser dividido em duas etapas. A primeira começa com observação e experimentação e termina com expectativas sobre o desempenho futuro de ativos disponíveis. A segunda etapa começa com expectativas relevantes sobre desempenhos futuros e termina com a escolha de portfólio.³

Este trabalho pretende estudar a possibilidade de desenvolver uma simulação de execução de um tipo específico de estratégia de investimento utilizando opções no mercado

³ “THE PROCESS OF SELECTING a portfolio may be divided into two stages. The first stage starts with observation and experience and ends with beliefs about the future performances of available securities. The second stage starts with the relevant beliefs about future performances and ends with the choice of portfolio.” MARKOWITZ, Harry. **Portfolio Selection**. The Journal of Finance, Vol 7, No 1 (March 1952), pp 77-91.

brasileiro. Esse tipo de simulação é comumente chamado de *backtest*. Os pontos trabalhados serão: a adaptação ao ambiente institucional; a análise de estratégias de investimento; a simulação de uma estratégia especulativa no mercado brasileiro a partir de séries históricas de cotações de opções, ações e taxas de juros.

O problema de pesquisa é: como desenvolver um método para simular operações com opções que nos permita analisar qual resultado seria obtido ao executar estratégias de operação no mercado real de opções, através de uma simulação que integre operações estruturadas e o modelo Black & Scholes de apreçamento de opções (1973)?

As operações foram simuladas a partir de séries históricas, com período de 10 minutos, de cotações de negócios que realmente ocorreram no mercado de opções, entretanto, as cotações apresentam somente o preço a que foi realizado o último negócio do período.

Dito isto, é importante esclarecer que não se pretende, aqui, recomendar ou sugerir a utilização da estratégia simulada no *backtest* desenvolvido neste trabalho no mercado real de opções. Neste último, as operações são realizadas entre duas partes, uma que envia uma ordem de compra e outra que envia uma ordem de venda. Logo, para executar uma estratégia operacional, deve-se trabalhar com as ofertas.

Jörgen Blomvall, em artigo desenvolvido para o Departamento de Matemática da Universidade de Linköpings, na Suécia⁴, constrói um modelo de investimento baseado em Programação Estocástica⁵ no qual *as compras são feitas no preço da oferta de venda e as vendas no preço de compra*. Para trabalhar desta forma, se faz necessária a disponibilidade dos registros de todas as ofertas lançadas no mercado, independente de terem sido executadas ou não.

A simulação aqui desenvolvida não considera que esta seja uma abordagem adequada, devido a grande quantidade de ofertas que não necessariamente se traduzem em negócios, mas são registradas e canceladas a cada segundo por programas de computador que conhecidos como *robôs*. No jargão do mercado, esta prática é chamada de “pescaria”, e consiste em configurar *robôs* para que enviem e cancelem ordens em alta velocidade, de acordo com parâmetros definidos pelo agente de mercado (*trader*) que comanda o *robô*,

⁴ Blomwall, J., Lindberg, P. O., **Back-testing the performance of na actively managed option portfólio at the Swedish Stock Market**, 1990-1999. Journal of Economic Dynamics & Control, 27 (2003), pp 1099-1112.

⁵ Modelos de programação estocástica são usados para resolver problemas estocásticos. A formulação geral de um problema estocástico pode ser ilustrada como a existência de um conjunto de decisões que devem ser tomadas sem informações completas sobre eventos aleatórios que são determinantes para o resultado final do problema.

induzindo os outros agentes a lançar e executar ordens de compra ou venda aos preços ideais para suas operações.

Para que a estratégia simulada neste trabalho, ou qualquer outra, possa ser executada no mercado real de opções, os preços das opções utilizados para calcular o preço teórico pelo modelo de apreçamento utilizado, assim como os preços das opções que serão comparados com o preço teórico obtido, não devem ser as cotações, mas sim, os preços das ofertas de compra e de venda. Isto se deve ao fato de que as cotações são preços de negócios já fechados, e tais preços podem não estar disponíveis para novas negociações. Os preços disponíveis para negociações são os das ofertas. Entretanto, para realizar uma simulação que visa observar o desempenho de uma estratégia no passado, é adequado trabalhar com as cotações, pois estas demonstram o comportamento que o mercado apresentou efetivamente no passado, já que são decorrentes do registro dos preços em que negócios foram realizados.

Neste estudo, trabalha-se com as cotações das opções sobre ações da Petrobrás S.A., que foram, juntamente com as opções da Vale S.A., as opções mais líquidas do mundo em 2012, de acordo com a Associação Internacional dos Mercados de Opções (IOMA)⁶. A alta liquidez dessas opções permite que exista disponibilidade de séries históricas de suas cotações com períodos bastante curtos.

É necessário frisar que a finalidade única deste estudo é apontar os aspectos que devem ser observados no momento de desenvolver um método de simulação de estratégias de operação de opções que integre as operações estruturadas com o modelo de apreçamento citado; aspectos tais como o instrumental necessário, os dados utilizados, o tratamento que deve ser dado aos mesmos, e as considerações sobre o ambiente institucional em que ocorrem os negócios, como os custos operacionais e as limitações que existem para abertura de certas posições em portfólio.

As corretoras de valores e a própria bolsa de valores, definem tais limitações para os diferentes tipos de agentes do mercado⁷, afinal, as possibilidades de operação para pequenos investidores pessoa física ou jurídica são completamente diferentes daquelas acessíveis para grandes investidores institucionais, tais como fundos de investimento. Isto pode ser verificado, por exemplo, nas condições de alavancagem, que é a possibilidade de executar operações que movimentam valores maiores dos que os efetivamente apresentados pelo investidor, onde o capital disponível é utilizado como margem de garantia das operações por

⁶ **Derivatives Markets Survey**, WFE/IOMA, 2012.

⁷ **Manual de Procedimentos Operacionais** - Segmento Bovespa. BMF&BOVESPA S.A. Pp. 89.

exigência dos setores de gestão de risco das corretoras de valores e da bolsa de valores. Uma cláusula presente nos contratos padrão de abertura de conta em corretoras prevê que operações devem ser encerradas caso resultem em perdas que correspondam ao valor apresentado como margem de garantia, a menos que sejam apresentadas novas garantias, adequadas ao risco da operação que se deseja manter. O custo das operações também deve ser considerado, e da mesma forma que ocorre com as garantias exigidas, os custos são diferentes para os diferentes agentes do mercado. A simulação desenvolvida aqui considerará as condições que são usualmente praticadas pelas corretoras de valores nas negociações realizadas por investidores pessoa física.

Também são consideradas as limitações do modelo de apreçamento utilizado, decorrentes de suas premissas, e como estas últimas foram tratadas para viabilizar a elaboração deste estudo.

O trabalho está organizado em seis capítulos. Neste primeiro, a introdução. No segundo capítulo serão apresentados os conceitos básicos utilizados ao longo do trabalho, descrevendo o funcionamento das opções, especificando a terminologia e enumerando os principais fatores que influenciam o preço de uma opção. No terceiro capítulo é feita a apresentação do modelo de Black - Scholes de apreçamento de opções⁸, juntamente com as medidas de sensibilidade (gregas). As fórmulas para cálculo das gregas que serão apresentadas derivam do modelo citado.

As operações estruturadas são explicadas no quarto capítulo, no momento é conveniente explicar apenas que estas consistem em posições obtidas através da combinação de duas ou mais posições em opções. A escolha das travas de alta com opções de compra e das travas de baixa com opções de compra decorre principalmente da adaptabilidade dessas operações às condições de liquidez e risco do mercado de opções brasileiro, de forma a serem acessíveis a qualquer participante do mercado. Também será comentada a relação entre as expectativas dos agentes e as características específicas das estruturas selecionadas.

No quinto capítulo são simuladas as travas baseadas em séries de cotações do ano de 2013, dos vencimentos de outubro, novembro e dezembro, das opções sobre ações preferenciais da Petrobrás negociadas na BMF&BOVESPA. Essas simulações foram conduzidas de maneira a incorporar os custos de transação e procuram replicar fielmente as condições de mercado, no intuito de permitir a análise dos resultados que teriam sido obtidos

⁸ BLACK, Fischer; SHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

se as operações tivessem sido executadas na realidade. Serão feitas as devidas ressalvas sobre as limitações dos resultados obtidos, no tocante à tomada de decisão feita a partir dos mesmos, e explicitados os fatores que causam tais limitações.

Finalmente, no último capítulo estão as considerações finais do trabalho. Existem três anexos com material de apoio: informações adicionais sobre os recursos computacionais utilizados e tabelas com os resultados das simulações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O intuito do trabalho é identificar os aspectos que devem ser observados para desenvolver um *backtest* de estratégias de operação de opções pautadas no modelo de Black - Scholes (1973), assim como enumerar algumas dificuldades que podem surgir no processo de desenvolvimento do *backtest*, mostrando que é possível testar estratégias e operações a partir de séries históricas de cotações. Com isto, procura-se contribuir para o desenvolvimento de simulações de estratégias de operação de opções que integrem o gerenciamento de risco proporcionado por operações estruturadas com o modelo Black - Scholes (1973) de apreçamento de opções.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar a conceituação dos fundamentos do mercado de opções;
- Introduzir o modelo Black - Scholes⁹ de apreçamento de opções;
- Explicar o funcionamento de opções estruturadas;
- Executar uma simulação de uma estratégia que integre operações estruturadas e o modelo Black - Scholes¹⁰.
- Identificar aspectos que devem ser considerados no momento de desenvolver e executar esse tipo de simulação.
- Identificar as limitações a que esse tipo de simulação pode estar sujeita.

⁹ BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

¹⁰ BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

1.3 JUSTIFICATIVA

Nos últimos vinte anos, o mercado de opções revolucionou o mundo das finanças¹¹, e as opções são, hoje, fundamentais para a gestão de portfólios, finanças corporativas e operações especulativas. A literatura sobre elas se tornou abundante e cada vez mais se desenvolvem técnicas de apreçamento e de estratégias operacionais para esse tipo peculiar de derivativo.

Entretanto, nessa literatura não é comum encontrar estatísticas indicativas sobre os resultados empíricos da aplicação das técnicas e mecanismos desenvolvidos ou mesmo de simulações a partir de dados reais, que poderiam ser bastante úteis no momento de selecionar as estratégias mais adequadas aos diferentes objetivos de quem pretenda operar opções, bem como às diversas situações do mercado. Isso se torna mais relevante ainda quando tratamos do mercado brasileiro de opções, que, apesar de ter crescido muito na última década e de figurar, desde 2009, como o maior mercado de opções sobre ações do mundo, segundo a IOMA¹², apresenta condições de liquidez e risco bastante peculiares, restringindo as possibilidades de quem deseja operar nesse ambiente.

Conhecer as possibilidades de aplicação de estratégias diversas antes de executá-las efetivamente no mercado pode ser um fator determinante para a gestão de risco de qualquer portfólio. Entretanto, isto não é tarefa fácil, exige embasamento teórico e conhecimento do ambiente institucional. Também é necessário conhecer as nuances da dinâmica do mercado de opções, caso contrário, pode-se incorrer em graves erros de interpretação, tanto ao desenvolver as metodologias das simulações de estratégias quanto ao fazer a leitura dos resultados destas últimas.

Nesse trabalho é desenvolvido e executado um método de simulação de uma estratégia para execução de um tipo específico de operação com opções, as travas, com o intuito de observar o resultado da simulação e utilizá-la para decidir sobre executar ou não a estratégia ou, ainda, utilizar a simulação para aperfeiçoar a estratégia. Tendo sido dito isto, a importância de estudar-se o tema torna-se patente.

Quando se compara a quantidade de mecanismos que visam simular estratégias com dados do passado, os chamados *backtests*, disponíveis para estratégias de negociação no mercado de ações, por exemplo, com a quantidade de mecanismos com o mesmo fim para o

¹¹ **Derivatives Markets Survey**, WFE/IOMA, 2012

¹² **Derivatives Markets Survey**, WFE/IOMA, 2012

mercado de opções, fica explícita a defasagem existente para este último. Tal defasagem pode ser atribuída ao fato de que no mercado de opções as estratégias de negociação envolvem muitas vezes operações complexas que vão muito além da simples identificação de tendências para a direção do mercado. No presente trabalho exploraremos a possibilidade de realizar *backtests* de estratégias que envolvem modelos de apreçamento de opções.

2 ASPECTOS PRÁTICOS E TÉCNICOS DO MERCADO DE OPÇÕES

2.1 MERCADO DE OPÇÕES

2.1.1 Conceitos básicos

Este capítulo apresenta os diversos conceitos e termos utilizados no trabalho. De maneira nenhuma objetiva esgotar a matéria de que trata; pretende apenas alinhar a linguagem e esclarecer aspectos relevantes sobre as posições técnicas adotadas que orientarão todo o texto.

O mercado de opções é o ambiente onde são negociados direitos de compra ou venda de ações, com preços e datas de exercício previamente estabelecidos¹³. Foi criado com o propósito primeiro de oferecer ao mercado de ações um mecanismo de proteção contra possíveis perdas¹⁴. Os preços e retornos dos instrumentos financeiros estão sujeitos a flutuações imprevisíveis, dito isto, as opções foram criadas para adaptar o risco das posições às expectativas e objetivos dos agentes do mercado de capitais. Os participantes do mercado que utilizam opções em seus portfólios podem ser denominados “*hedgers*”, quando as opções são usadas com o propósito de limitar os riscos de oscilação dos ativos em carteira, ou denominados “especuladores”, quando unicamente assumem os riscos inerentes às opções. A presença de especuladores é primordial para que o mercado de opções apresente liquidez, ou seja, para que seja possível negociar opções com agilidade, dispondo de contrapartes para as posições pretendidas.

2.1.1.1 Opção

Opção é um instrumento financeiro que confere ao seu titular ou comprador um direito futuro sobre algo, mas não uma obrigação; ao seu vendedor, a opção significa uma obrigação futura, caso reclamado pelo comprador¹⁵. É um mecanismo semelhante a um seguro. O titular da opção corresponde ao segurado e o vendedor à seguradora. O segurado paga para ter o direito de ser ressarcido caso haja um sinistro e a seguradora recebe para garantir ao segurado que o ressarcimento será feito se assim for solicitado.

¹³ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 163

¹⁴ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p.2

¹⁵ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 163

As opções têm uma data de vencimento, a partir da qual deixam de ter validade. Considerando essa característica, podemos compreender a seguinte classificação das opções: a opção que pode ser exercida a qualquer momento até a data de vencimento é denominada opção americana, e a que somente pode ser exercida no seu vencimento é denominada opção europeia. Devido à existência de uma taxa de juros livre de risco, consideramos que o exercício antes do vencimento nunca é vantajoso para o comprador da opção, pois corresponderia a abrir mão dos juros que podem ser obtidos até o vencimento, pois é sempre melhor pagar amanhã do que hoje.

2.1.1.2 Opção de compra

Uma opção de compra, também conhecida no mercado como *call*, é um contrato que dá a seu possuidor o direito de comprar, em data específica, determinada quantidade do ativo objeto desse contrato, por um preço pré-estabelecido: o preço de exercício (*strike*)¹⁶. Por exemplo, no dia 23 de setembro de 2013, o contrato de opção de compra PETRJ17 dava ao seu possuidor o direito de comprar, até o dia 21 de outubro do mesmo ano, uma ação preferencial da Petrobrás (PETR4) pelo preço de R\$ 17,00, e foi negociado por preços que oscilaram entre R\$ 2,00 e R\$ 2,32.

O investidor detentor de uma opção de compra tem o direito de comprar a opção, mas pode decidir se exerce ou não esse direito. Se ele (doravante o investidor A será denominado “ele” apenas por conveniência, sem que isso configure nenhum tipo de sugestão a respeito do gênero dos investidores no Brasil) comprou uma *call* com preço de exercício de R\$ 17,00 e, no dia do exercício da opção, ele pode comprar no mercado à vista o mesmo ativo objeto do contrato por um preço inferior, por exemplo, R\$ 16,00, não há razão para que o direito de comprar a ação por R\$ 17,00 seja exercido. No jargão do mercado, dizemos que a opção “virou pó”, pois perdeu seu valor, uma vez que o exercício não é lucrativo. Se o contrário ocorre, e a ação que é ativo objeto do contrato de opção é negociada no mercado à vista por R\$ 18,00, essa *call* será exercida pelo seu titular, que pode comprá-la por R\$ 17,00 e vendê-la, por exemplo, por R\$ 18,00, auferindo R\$ 1,00 de ganho.

Percebe-se que o titular da opção detém o direito de exercer ou não o contrato, sem qualquer obrigação. Ele pode exercer se for vantajoso, ou, se não for, pode optar por não o fazer. O fato de se tratar de um contrato implica que haja mais de uma parte envolvida: a

¹⁶ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 164

contraparte do titular da opção é o lançador, aquele que oferece a opção no mercado. Se o primeiro tem o direito de escolher comprar ou não o ativo objeto da opção, o segundo tem a obrigação de vendê-lo pelo preço de exercício, no dia do vencimento, caso o titular da opção decida exercê-la.

Considerando uma situação hipotética onde é comprada, ao preço de R\$ 1,00, uma opção de compra (*call*) com preço de exercício de R\$ 16,00, a Tabela 1 a seguir mostra o valor da opção para diferentes valores do ativo objeto na data de exercício, e os lucros e perdas para cada valor possível para o ativo objeto na data de exercício.

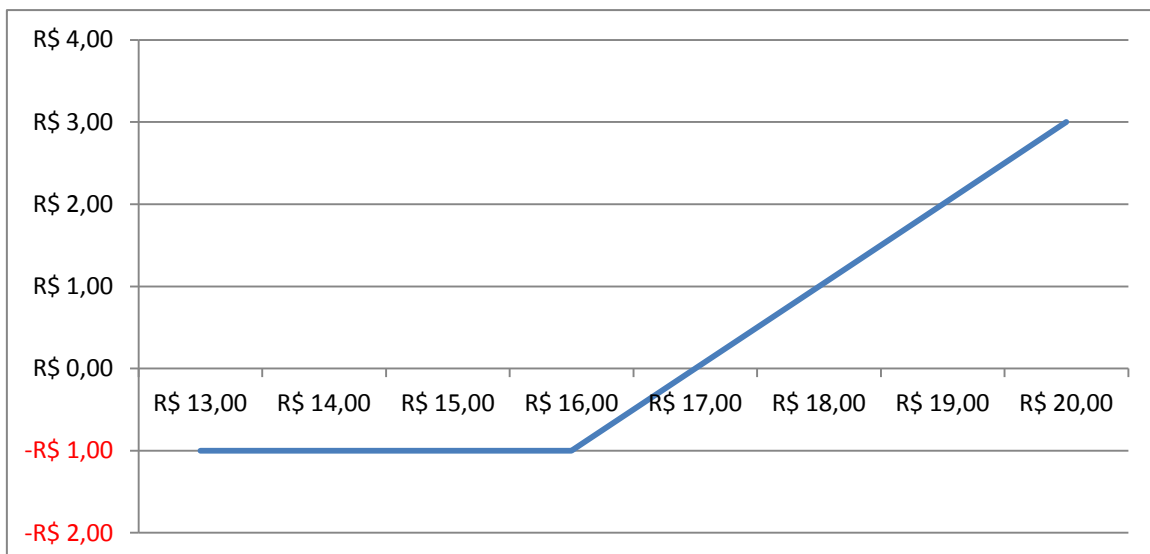
Tabela 1 Exemplo de compra de *Call* de Preço de exercício X = R\$ 16,00.

Valor do objeto	Prêmio pago	Resultado no exercício	Resultado final
R\$ 13,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 14,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 15,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 16,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 17,00	-R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 0,00
R\$ 18,00	-R\$ 1,00	R\$ 2,00	R\$ 1,00
R\$ 19,00	-R\$ 1,00	R\$ 3,00	R\$ 2,00
R\$ 20,00	-R\$ 1,00	R\$ 4,00	R\$ 3,00

Fonte: elaborado pelo autor.

A representação dos dados apresentados na forma gráfica está na Figura 1, abaixo:

Figura 1: Resultado para o comprador de opção de compra.



Fonte: elaborado pelo autor.

A possibilidade de fazer uma escolha sem precisar oferecer nenhuma contrapartida deve ter um preço. O titular da *call* compra essa opção e o lançador recebe exatamente o valor pago pelo comprador, descontado de custos transacionais. A questão da precificação das opções ocupará, mais adiante, grande parte do esforço deste trabalho.

2.1.1.3 Opção de venda

Uma *put*, ou opção de venda, é um contrato que confere ao titular o direito de vender o ativo objeto pelo preço de exercício na data de vencimento¹⁷. Ao contrário das *calls*, as *puts* são exercidas apenas quando o preço do ativo objeto no mercado à vista está abaixo do preço de exercício. O titular de uma *put* paga pelo direito de escolher se vai vender ou não o ativo objeto pelo preço de exercício, enquanto o lançador recebe para se comprometer a comprar o ativo objeto pelo preço de exercício, caso a *put* venha a ser exercida.

Considerando uma situação hipotética onde é adquirida uma opção de venda (*put*) ao preço de R\$ 1,00, com preço de exercício de R\$ 16,00, a Tabela 2 a seguir mostra o valor da opção para diferentes valores do ativo objeto na data de exercício, e os lucros e perdas para cada valor possível para o ativo objeto na data de exercício.

Tabela 2: Exemplo de compra de *put* de Preço de exercício X = R\$ 16,00.

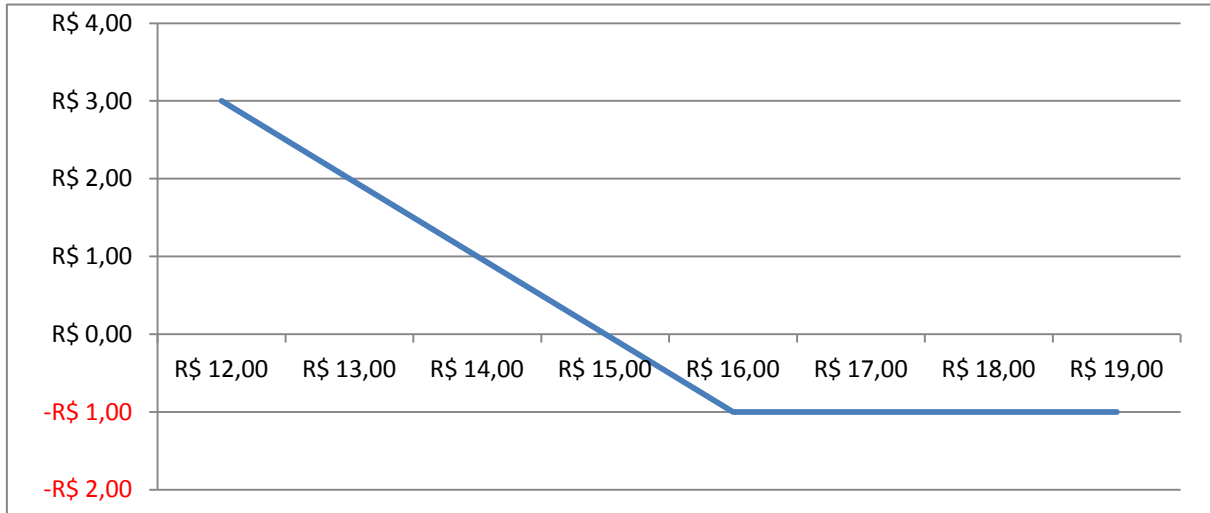
Valor do objeto	Prêmio pago	Resultado no exercício	Resultado final
R\$ 12,00	-R\$ 1,00	R\$ 4,00	R\$ 3,00
R\$ 13,00	-R\$ 1,00	R\$ 3,00	R\$ 2,00
R\$ 14,00	-R\$ 1,00	R\$ 2,00	R\$ 1,00
R\$ 15,00	-R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 0,00
R\$ 16,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 17,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 18,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00
R\$ 19,00	-R\$ 1,00	R\$ 0,00	-R\$ 1,00

Fonte: elaborado pelo autor.

¹⁷ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 165

A representação dos dados apresentados na forma gráfica está na Figura 2, a seguir:

Figura 2: Resultado para o comprador de opção de venda.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.2 Nomenclatura

Na BMF & Bovespa, o código das opções sobre ações contém informações sobre as características do contrato de opção, na seguinte ordem: ação-objeto do contrato, data de vencimento, direito estipulado pelo contrato (venda ou compra) e preço de exercício¹⁸. O código PETRJ17, por exemplo, representa uma opção de compra sobre a ação preferencial da PETROBRAS S.A. (PETR) que confere direito à compra com vencimento no mês de outubro (J), e preço de exercício de R\$ 17,00. Todas as opções expiram na terceira segunda-feira de seu respectivo mês de vencimento, e o preço de exercício pode sofrer eventuais ajustes pela CBLC (Câmara Brasileira de Liquidação e Custódia) devido à ocorrência de proventos, desdobramentos ou grupamentos que possam acontecer com a ação-objeto, durante a vida da opção. A seguir, o Quadro 1 apresenta o padrão de conversão letra/mês de vencimento.

¹⁸ Manual de Procedimentos Operacionais - Segmento Bovespa. BMF&BOVESPA S.A. Pp. 66

Quadro 1: Conversão letra/mês de vencimento

Opção de compra		Opção de venda	
Letra	Mês	Letra	Mês
A	Janeiro	M	Janeiro
B	Fevereiro	N	Fevereiro
C	Março	O	Março
D	Abril	P	Abril
E	Maio	Q	Maio
F	Junho	R	Junho
G	Julho	S	Julho
H	Agosto	T	Agosto
I	Setembro	U	Setembro
J	Outubro	V	Outubro
K	Novembro	W	Novembro
L	Dezembro	X	Dezembro

Fonte: BM&FBovespa

2.1.3 Opções dentro do dinheiro, no dinheiro e fora do dinheiro.

Uma das categorizações de opções mais pertinentes ao escopo deste trabalho é dada de acordo com a diferença entre o preço de exercício da opção e o preço do ativo objeto no mercado à vista. Essa diferença é um bom indicador para a probabilidade de exercício no vencimento da opção.

Dizemos que uma *call* está “dentro do dinheiro” quando o preço do ativo objeto no mercado à vista é superior ao preço de exercício da opção, aumentando a probabilidade de que seja exercida¹⁹. Quando tratamos de uma *put*, dizemos que a opção está dentro do dinheiro se o preço do ativo objeto no mercado à vista está abaixo do preço de exercício da opção, o que também aumenta a probabilidade de que essa exercício.

Para uma *call*, o termo “fora do dinheiro” indica que o preço do ativo objeto no mercado à vista está abaixo do preço de exercício da opção, enquanto, para uma *put*, o mesmo

¹⁹ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 173

termo indica que o preço do ativo objeto no mercado à vista é superior ao preço de exercício da opção, de forma a indicar baixa probabilidade de ser exercida²⁰.

Quando uma opção está “no dinheiro”, significa que o preço do ativo objeto no mercado à vista é igual ou está muito próximo do preço de exercício, de maneira a ser praticamente impossível conjecturar sobre a probabilidade de exercício da opção, quer esta seja uma *call* ou uma *put*²¹. O Quadro 2 a seguir apresenta as definições citadas.

Quadro 2 – Classificação de opções relativa ao preço de exercício R\$ 18,00

Ativo PETR4	R\$ 17,00	R\$ 18,00	R\$ 19,00
<i>Call</i> PETRJ18	fora do dinheiro	no dinheiro	dentro do dinheiro
<i>Put</i> PETRV18	dentro do dinheiro	no dinheiro	fora do dinheiro

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 O PREÇO DAS OPÇÕES

2.2.1 Fatores que afetam o preço de uma opção

A seguir, seis fatores que afetam o preço de uma opção²²:

1. O preço do ativo objeto no mercado à vista;
2. O preço de exercício;
3. O tempo até o vencimento;
4. A volatilidade do preço do ativo objeto;
5. A taxa de juros livre de risco;
6. Os dividendos esperados durante a vida da opção.

Analisaremos cada um desses fatores separadamente, considerando que os outros permanecem constantes, a fim de demonstrar a direção que o preço da opção assume quando o fator observado varia em determinado sentido.

2.2.1.1 Preço do ativo objeto no mercado à vista

Para as *calls*, quando o preço da ação sobe, o prêmio da *call* sobe, pois essa tende a ficar dentro do dinheiro, aumentando a probabilidade de exercício. Para uma *put*, o prêmio da

²⁰ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 173

²¹ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 173

²² HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 188

opção cai à medida que o preço da ação sobe, pois a *put* tende a ficar cada vez mais fora do dinheiro, o que diminui a probabilidade de exercício²³. Em ambos os casos, o inverso também é verdadeiro.

2.2.1.2 Preço de exercício

Quanto mais alto o preço de exercício da *call*, menor seu prêmio, pois essa tende a ficar cada vez mais fora do dinheiro, reduzindo a probabilidade de exercício. Já para as *puts*, acontece o contrário: quanto maior o preço de exercício, maior a probabilidade de exercício e maior o prêmio da opção²⁴.

2.2.1.3 Tempo até o vencimento

O tempo até o vencimento é um fator decisivo para a precificação das opções, pois, à medida que o tempo passa, a ocorrência de oscilações favoráveis no preço do ativo objeto se torna cada vez menos provável²⁵. No período entre a abertura do contrato e o vencimento, as possibilidades são virtualmente infinitas, mas se reduzem com o passar do tempo, até que, no dia do vencimento, praticamente nada mais pode acontecer.

2.2.1.4 Volatilidade

A volatilidade dos retornos dos preços do ativo objeto é o fator mais importante para a precificação de opções, pois quanto maior a volatilidade, maior a probabilidade de que a opção possa ser exercida²⁶. Isso vale tanto para *puts* quanto para *calls*.

2.2.1.5 Dividendos

Na data ex-dividendo o preço das ações normalmente cai, o que é positivo para as *puts* e negativo para as *calls*. Desta forma, o preço das *puts* é positivamente relacionado ao valor dos dividendos pagos pela ação, enquanto o preço das *calls* lhe é inversamente relacionado²⁷.

²³ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 189

²⁴ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 189

²⁵ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 189

²⁶ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 189

²⁷ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 192

2.2.1.6 Taxa de juro livre de risco

A taxa de juro influencia o preço das opções de maneira bastante peculiar, pois afeta ao mesmo tempo o comportamento do ativo objeto²⁸. À medida que a taxa de juro da economia aumenta, a taxa de valorização do ativo objeto tende a aumentar também; entretanto, o valor presente dos fluxos financeiros recebidos pelo titular tende a diminuir. Esses dois efeitos pressionam o preço de uma *put* para baixo, de forma que esse tende a cair quando a taxa de juros aumenta. No caso das *calls*, o primeiro efeito tende a valorizar a opção, enquanto o segundo tende a desvalorizá-la. Segundo John Hull (HULL, 1991), pode ser demonstrado que o primeiro efeito prevalece sobre o segundo, ou seja, o preço das *calls* deve aumentar quando a taxa de juro livre de risco aumenta. Na prática, quando as taxas de juro aumentam, o preço das ações tende a diminuir; isso aumenta o preço das *puts* e diminui o preço das *calls*.

2.2.2 Valor intrínseco X Valor-tempo

O preço de uma opção pode ser dividido entre o valor intrínseco e o valor-tempo. O valor intrínseco é a parcela do preço da opção que corresponde à diferença entre o preço do ativo objeto no mercado à vista e o preço de exercício da opção²⁹.

Para uma opção de compra, o valor intrínseco é o valor máximo da diferença entre o preço do ativo objeto no mercado à vista e o preço de exercício da opção, que pode ser dado pela expressão:

$$= \quad 30$$

Já para a opção de venda, o valor intrínseco é o valor máximo da diferença entre o preço de exercício e o preço do ativo objeto no mercado à vista, e pode ser denotado pela expressão:

$$= \quad 31$$

A parcela do prêmio (ou preço) da opção que excede o valor intrínseco é denominada valor extrínseco ou valor-tempo. Podemos afirmar que o valor-tempo é decorrente da variação

²⁸ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 192

²⁹ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994, p 84

³⁰ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 195

³¹ HULL, John. **Introduction to Futures and Options Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 197

da probabilidade de a opção ser exercida ou não no período até o vencimento. É essa característica que permite que mesmo opções fora do dinheiro possuam preços positivos. O preço de uma opção fora do dinheiro é composto unicamente pelo valor-tempo, enquanto o preço de uma opção dentro do dinheiro é a soma do valor intrínseco com o valor-tempo.

2.3 EXERCÍCIO ANTECIPADO DE OPÇÕES AMERICANAS

John Hull³² mostra que o exercício antecipado de *calls* americanas sobre ações que não pagam proventos durante a vida da opção nunca será lucrativo e, portanto, seu possuidor deverá sempre esperar até o vencimento para exercê-las. Isso se deve ao fato de que esse tipo de *call* sempre mantém seu preço acima do valor intrínseco, e é melhor pagar amanhã do que hoje devido ao custo de oportunidade, pois existe a possibilidade de obter rendimentos a uma taxa livre de risco. Nas palavras de Hull:

Nesta seção, nós mostramos que nunca é ótimo exercer antecipadamente uma opção de compra Americana sobre uma ação não pagadora de dividendos. Para ilustrar a natureza geral do argumento, considere uma opção de compra Americana sobre uma ação não pagadora de dividendos com um mês até o vencimento quando o preço da ação é \$50 e preço de exercício é \$40. A opção está muito dentro do dinheiro e o investidor que possui a opção pode muito bem estar tentado a exercê-la imediatamente. Entretanto, se o investidor planeja permanecer com a ação por mais um mês, esta não é a melhor estratégia. (HULL, 1991, p. 197).³³

No caso de uma *put* de uma ação que não paga proventos, o exercício antecipado é sempre lucrativo, pois é melhor receber hoje do que amanhã, também devido ao custo de oportunidade decorrente da possibilidade de rentabilizar o dinheiro a uma taxa de juros livre de risco.

2.4 LIQUIDAÇÃO OU ENCERRAMENTO DE UMA POSIÇÃO

³² HULL, John. **Introduction to Futures and Option Markets**. Prentice Hall, 1991.

³³ “In this section, we show that it is never optimal to exercise an American call option on a nondividend-paying stock early. To illustrate the general nature of the argument, consider an American call option on a nondividend-paying stock with one month to expiration when the stock price is \$50 and the strike price is \$40. The option is deep in the money and the investor who owns the option might well be tempted to exercise it immediately. However, if the investor plans to hold the stock for more than one month, this is not the best strategy.” (HULL, John. **Introduction to Futures and Option Markets**. Prentice Hall, 1991, p. 197).

Uma vez aberta uma posição, existe a preocupação de encerrá-la de acordo com a estratégia adotada. O encerramento pode ser motivado pela realização de lucros, pela minimização de perdas, ou simplesmente para que se possa dar outro destino aos recursos comprometidos com a operação em questão. Encerrar uma posição significa assumir no mercado uma posição exatamente contrária à que se detém atualmente: se o investidor está comprado, ele deve vender; se está vendido, deve comprar, sempre a mesma quantidade de contratos com o mesmo vencimento e preço de exercício dos que compunham a posição aberta.

Por exemplo, se o investidor está comprado em 1000 PETRK18 e vendido em 1000 PETRK20, configurando o que é conhecido como trava de alta, ou *call bull spread*, para encerrar a posição, ele deve vender 1000 PETRK18 e comprar 1000 PETRK20.

2.5 MARGEM DE GARANTIA

Com o propósito de garantir a correta liquidação das operações, a CBLC exige garantias de quem deseja vender opções, pois lançadores de contratos possuem obrigações potenciais (cumprir o contrato, vendendo ou comprando o ativo), mesmo caso o mercado assuma uma direção desfavorável à posição aberta – portanto, lançadores de opções oferecem riscos às bolsas.

Os lançamentos de opções podem ser cobertos ou descobertos. Quando a ação-objeto é depositada como garantia, o lançamento é coberto, e o lançador fica isento de depositar garantias adicionais. Se não há quantidade de ações suficiente para cobrir a posição vendida em opções, o lançamento é descoberto, e o lançador é chamado a depositar certa garantia em margem. Essa garantia terá determinada proporção em relação à posição vendida e poderá ser em dinheiro, títulos públicos ou outros ativos líquidos permitidos, especificados pela CBLC. A proporção da margem de garantia exigida pode variar ao longo da validade da opção, dependendo das condições de mercado. Operações estruturadas podem ou não necessitar de apresentação de garantias, conforme a natureza da operação. As operações estudadas neste trabalho têm um perfil tal que o cálculo da margem de garantia é feito de maneira simples, como será visto no capítulo 5.

3 O MODELO BLACK - SCHOLES

Desde que Fischer Black e Myron Scholes publicaram seu pioneiro artigo (BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*, 1972) no qual introduzem seu modelo de apuração de opções, acadêmicos e traders vêm empreendendo esforços para refinar suas aplicações, quer sejam estas para estudar a eficiência dos mercados ou para identificar oportunidades de lucro, especialmente quando os valores de variáveis fornecidas pelo modelo ou derivações dele divergem dos valores das mesmas variáveis observados no mercado. A possibilidade de simular esta segunda aplicação é o tema central desta monografia.

A característica que torna tal modelo apropriado para o tipo de procedimento que pretendemos levar a cabo neste trabalho é sua aplicabilidade. Tal fato pode ser atribuído a um importante aspecto de sua formulação: ela não depende nem das expectativas para o preço futuro do ativo objeto, nem do comportamento dos investidores diante de risco. Conseqüentemente, o modelo é o mais utilizado no mercado de opções quando o intuito é estimar o preço das mesmas.

A fundamentação do modelo B&S (1972) é a de que não existe a possibilidade de obtenção de lucro quando um portfólio é composto de forma a ter uma *razão de hedge* apropriada entre a posição em ações e opções sobre essas ações. Portanto, uma posição comprada em ações e vendida em opções (tal como uma posição vendida em ações e comprada em opções) poderá obter uma rentabilidade igual à da taxa livre de risco, desde que a proporção apropriada entre ações e opções seja mantida e as opções sejam negociadas ao preço justo. Tal proporção é obtida através de uma derivação da fórmula de precificação de opções, cujo resultado determinará os ajustes necessários no portfólio para que o mesmo permaneça isento ao risco decorrente da flutuação dos preços da ação objeto. Concomitantemente, entende-se que se o preço da opção é superior ou inferior ao preço justo, existe a possibilidade de um arbitrador obter rentabilidade superior à oferecida pela taxa livre de risco do mercado.

3.1 PREMISSAS DO MODELO BLACK - SCHOLES

O modelo parte das seguintes hipóteses³⁴:

1. A taxa de juros de curto prazo é conhecida e é constante em relação ao tempo.
2. O preço da ação segue uma trajetória aleatória no tempo contínuo, e tem a variância proporcional ao quadrado do preço da ação. Logo, a distribuição dos preços possíveis no fim de qualquer intervalo de tempo finito é log-normal. A variância do retorno da ação é constante.
3. Não existem custos operacionais para negociação de ações ou opções.
4. A ação não distribuirá proventos durante a vida da opção.
5. A opção é europeia, logo, só pode ser exercida no vencimento.
6. É possível financiar a compra de qualquer fração do preço de um ativo à taxa de juros de curto prazo.
7. Não existem restrições para vender ativos a descoberto, e um vendedor que não possua o ativo aceitará o preço do ativo de um comprador, em alguma data futura, pagando a esse comprador o preço do ativo nessa data.

Algumas dessas premissas foram flexibilizadas por outros pesquisadores, *e.g.*, algumas variações da fórmula do modelo B&S (1973) podem ser usadas quando a taxa de juros livre de risco e a volatilidade são funções do tempo, e a fórmula pode ser ajustada para considerar pagamento de dividendos.

O modelo assume que a volatilidade das ações é constante, porém, na realidade isso não se observa, ou seja, a volatilidade das ações-objeto das opções é variável e incerta, mas mesmo assim:

Desde o desenvolvimento da fórmula Black-Scholes de precificação de opções (Black and Scholes 1973), praticantes a usaram extensivamente, mesmo para avaliar opções cujos ativos-objeto (doravante denominado a “ação”) sabe-se não satisfazerem a hipótese de Black-Scholes de volatilidade determinística. (KAROUI, JEANBLANC-PICQUÉ, SHREVE, 1998, p.1)³⁵

O estudo de Shreve *et al.* busca fornecer condições sob as quais a fórmula de Black-Scholes (1973) é robusta no referente a uma determinação imprecisa da volatilidade, sob os pressupostos de que derivativos apresentam fluxos de caixa convexos e de que a única fonte de imprecisão na determinação da volatilidade é a dependência do preço corrente do ativo

³⁴ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011.

³⁵ Since the development of the Black-Scholes option pricing formula (Black and Scholes 1973), practitioners have used it extensively, even to evaluate options whose underlying asset (hereafter called the “stock”) is known to not satisfy the Black-Scholes Hypothesis of a deterministic volatility. (KAROUI, JEANBLANC-PICQUÉ, SHREVE, 1998, p.1)

objeto, e, portanto, se a volatilidade imprecisamente determinada domina a volatilidade verdadeira, então o preço do derivativo correspondente à volatilidade imprecisamente determinada domina o preço verdadeiro do derivativo.

John Hull (1991), explica que, apesar do modelo de comportamento do preço das ações que fundamenta o B&S (1973) pressupor que a distribuição do preço da ação em algum momento no futuro, em relação ao valor de hoje, é lognormal, i.e., pressupor que a taxa contínua composta de retorno das ações em qualquer momento do tempo possui distribuição normal, testes de apreçamento de opções freqüentemente mostram que as opções dentro do dinheiro e fora do dinheiro aparentam ser “subprecificadas”, relativamente às opções no dinheiro. Isto é, a volatilidade para a qual a equação de B&S (1972) precifica corretamente opções no dinheiro, causa que a mesma equação “subprecifique” opções dentro e fora do dinheiro. Tal viés na precificação pode ser explicado por diferenças entre a distribuição lognormal pressuposta por Black e Scholes e a distribuição verdadeira.

Outros fatores como a descontinuidade do movimento dos preços e o tempo até o vencimento da opção podem causar o efeito de “subprecificação” ou “sobreprefificação”.

São numerosos os problemas de ordem teórica em desenvolver pesquisa empírica para testar o modelo Black e Scholes (1972) ou outros modelos de apreçamento de opções. Este trabalho não tem o intuito de averiguar tais questões, objetiva apenas identificar os aspectos metodológicos que devem ser observados para desenvolver um *backtest* de estratégias de operação de opções pautadas no modelo de Black & Scholes, assim como enumerar algumas dificuldades que podem surgir no processo de desenvolvimento do *backtest*. Dito isto, seguiremos com a apresentação do modelo em questão.

As fórmulas do modelo B&S (1972) para a precificação de opções são:

Call (opção de compra):

36

Put (opção de venda):

37

Existe, ainda, a equação que estabelece uma relação denominada paridade *call-put*, que independe do modelo de precificação utilizado:

³⁶ BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

³⁷ BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

Onde³⁹:

$$C = S N(d_1) - X e^{-rt} N(d_2)$$

X é o preço de exercício;

r é a taxa de juro livre de risco;

T é o tempo para o vencimento da opção;

S é o preço atual da ação;

σ é a volatilidade do preço da ação.

O modelo de Black & Scholes (19732) considera a volatilidade como constante ao longo do tempo, por isso as únicas variáveis do modelo são o preço da ação e o tempo até o vencimento⁴⁰.

Além disso, o modelo foi deduzido pressupondo opções europeias não pagadoras de dividendos, entretanto a fórmula também pode ser adequada para opções americanas que pagam dividendos no mercado brasileiro, pois o efeito de distribuição de dividendos é anulado pelo ajuste do preço de exercício.

Pode ser apresentada uma maneira intuitiva de compreender o modelo assumindo que o preço de uma *call* pode ser visto como uma esperança matemática, onde $N(d_1)$ é a probabilidade de um ganho ilimitado, caso o preço do ativo objeto suba, e $N(d_2)$, de uma perda ilimitada, caso caia. A soma dessas probabilidades dará o valor da opção no instante T .

³⁸ HULL, John. **Introduction to Futures and Option Markets**. Prentice Hall, 1991.

³⁹ BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

⁴⁰ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

No vencimento, ambas as probabilidades são iguais a 1, caso a opção termine em exercício, ou iguais a zero, caso “vire pó”. O valor da opção será apenas o valor intrínseco, e o valor extrínseco terá sido corroído completamente.

3.2 A RELEVÂNCIA DA VOLATILIDADE

De todos os parâmetros considerados no modelo B&S (1973) para determinar o preço de uma opção, a volatilidade é o que traz as maiores complicações⁴¹; todas as outras variáveis consideradas – preço de exercício, preço da ação, taxa de juros e dias até o vencimento – são obtidas diretamente do mercado, enquanto a volatilidade exige que se adote um procedimento, dentre muitos possíveis, para que se possa estimá-la. O critério de seleção desse procedimento envolve decisões subjetivas⁴². A volatilidade não é diretamente observável, o que faz com que, se todos os outros parâmetros são iguais para todos os agentes de mercado, a precificação da opção dada por cada agente dependa do método utilizado para estimar a volatilidade. Algumas das abordagens possíveis para sua estimação serão discutidas a seguir, e a apresentação detalhada da abordagem utilizada no presente trabalho será feita no capítulo 5.

3.3 TIPOS DE VOLATILIDADE

É de fundamental importância, quando se cita a volatilidade, esclarecer a que tipo se está referindo⁴³. A falta de uma definição clara pode trazer prejuízos ao entendimento de leituras técnicas sobre o assunto e perdas financeiras ao investidor que decidir utilizar alguma estratégia que envolva a o uso da volatilidade em alguma etapa do processo decisório, como é o caso da estratégia que estudaremos neste trabalho. Definiremos a seguir os tipos de volatilidade.

3.3.1 Volatilidade futura

É a volatilidade que pretende descrever a futura distribuição de preços de um ativo⁴⁴. É impossível conhecê-la, caso contrário, as estimativas de preços teóricos seriam praticamente perfeitas. Esse conceito de volatilidade, portanto, é de utilidade apenas teórica para o

⁴¹ SOUZA, Luiz Alvares Rezende de. **Estratégias para aplicação no mercado brasileiro de opções**. FEA 1996

⁴² SOUZA, Luiz Alvares Rezende de. **Estratégias para aplicação no mercado brasileiro de opções**. FEA 1996

⁴³ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994, p. 157

⁴⁴ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994, p. 157

desenvolvimento de modelos. De fato, se fosse possível conhecer a volatilidade futura de uma ação, o mercado de opções perderia seu propósito, pois as oscilações de preços das ações seriam perfeitamente previsíveis.

3.3.2 Volatilidade histórica

Quando se analisam séries históricas de preços, é possível obter aproximações satisfatórias para o comportamento futuro dos mesmos, apesar de ser impossível prevê-lo.

Para estudar a volatilidade histórica, faz-se necessário, primeiramente, decidir o período que será examinado. É aconselhável selecionar, inicialmente, um período suficientemente longo para que se possam detectar comportamentos sazonais ou movimentos atípicos para, em seguida, observar a volatilidade de curto prazo em períodos recentes. O critério de seleção dos períodos a serem analisados é bastante subjetivo, e pode ser relacionado com o prazo das operações que se pretende executar, ou seja, com a data de vencimento das opções que serão utilizadas na estratégia. Essa flexibilidade na seleção de critérios para estimação da volatilidade histórica permite que sejam virtualmente infinitas as possibilidades para os resultados obtidos, uma vez que esse dependa da periodicidade utilizada para a estimação e do intervalo de tempo considerado⁴⁵.

3.3.3 Volatilidade implícita

O conceito de volatilidade implícita parte da premissa de que os preços de mercado das opções constituam o melhor instrumento disponível para avaliação da volatilidade, admitindo-se que o mercado precifique corretamente, considerando todas as informações e expectativas em relação ao comportamento futuro do ativo⁴⁶.

Para estimá-la, é necessário solucionar o modelo de precificação de opções escolhido para a volatilidade, tendo dado o preço da opção. Nesse caso, o modelo escolhido é o de Black & Scholes, o que implica que a solução para a volatilidade seja obtida numericamente, através de método iterativo, uma vez que na equação do modelo não é possível isolar σ .

Foi utilizado um algoritmo elaborado no Microsoft Excel, em VBA, para aplicar o método de Newton-Raphson⁴⁷, que, segundo Rezende Souza (1996, p. 57), apresenta

⁴⁵ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994, p 158

⁴⁶ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994, p 159

⁴⁷ O Método de Newton-Raphson objetiva estimar as raízes de uma função através de um método iterativo.

convergência mais acelerada para a solução ao incorporar ajustes sucessivos e não lineares na busca pela mesma.

A equação⁴⁸ a ser resolvida iterativamente é:

$$\text{—————} \quad (10)$$

Até que

$$(11)$$

Onde:

é o preço teórico da opção com volatilidade ;

é o preço de mercado da opção no momento t ;

é a volatilidade estimada na interação i para o momento t ;

é o Vega teórico da opção⁴⁹ — no momento t ;

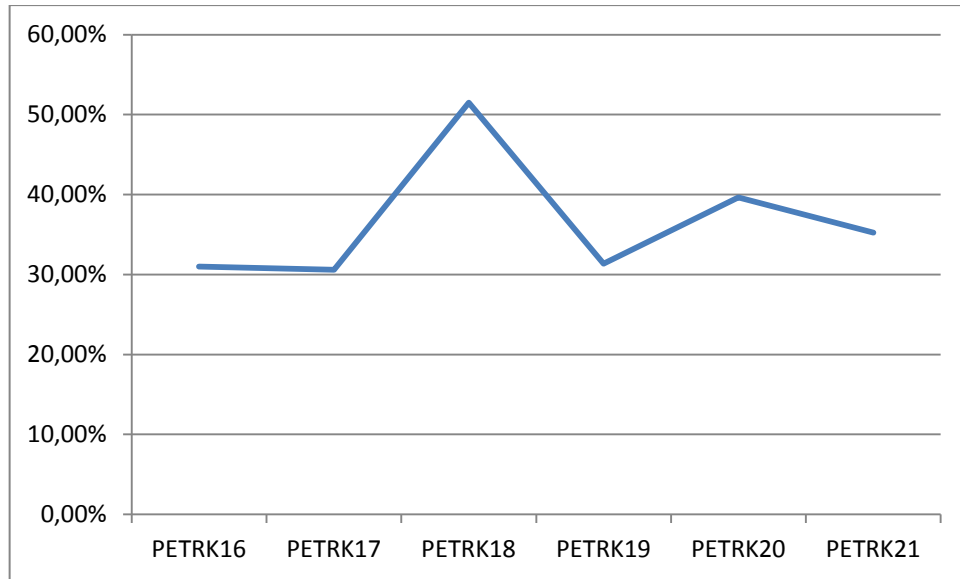
é o erro máximo de tolerância.

É interessante observar também que a volatilidade implícita é uma característica do ativo objeto, mas que por ser estimada a partir do preço das opções, pode ter valores diferentes para o mesmo ativo objeto, no mesmo instante, quando obtida a partir de cotações de opções com preços de exercício diferentes. Essa característica é responsável pela existência de um fenômeno chamado de “*smile* de volatilidade”, que representa graficamente as diferentes volatilidades implícitas obtidas para os diferentes preços de exercício, como pode ser verificado na Figura 3 a seguir, onde o gráfico ilustra as diferentes volatilidades implícitas fornecidas por cada uma das opções com diferentes preços de exercício, para o mesmo ativo objeto.

⁴⁸ SOUZA, Luiz Alvares Rezende de. **Estratégias para aplicação no mercado brasileiro de opções**. FEA 1996

⁴⁹ A definição de Vega será apresentada no item “Gregas”, neste mesmo capítulo.

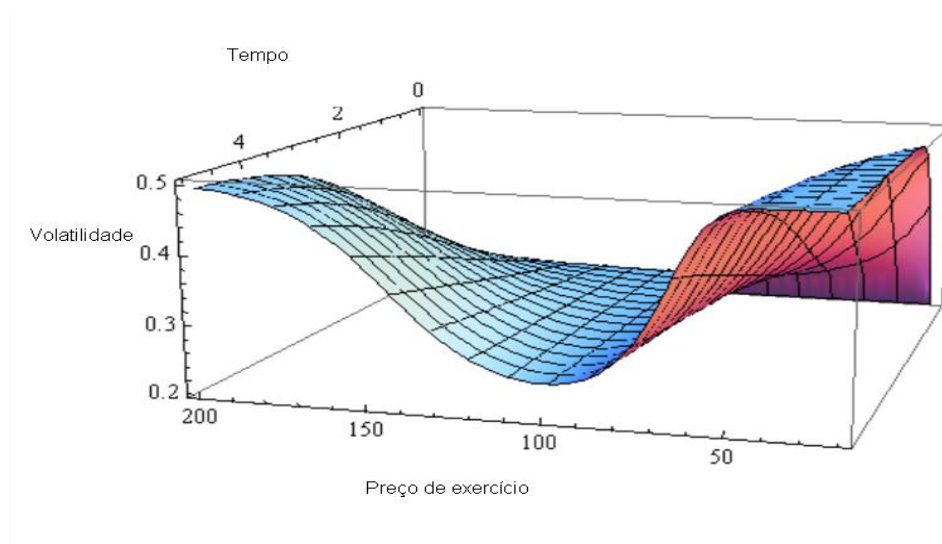
Figura 3 – Smile de volatilidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quando são considerados os vencimentos diferentes, colocando mais uma variável na representação gráfica, obtém-se o que é denominado superfície de volatilidade, representado por um gráfico tridimensional como na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Exemplo de superfície de volatilidade



Fonte: Quantitative Research and Trading. (Disponível em: <<http://jonathankinlay.com/index.php/2011/02/the-lognormal-mixture-variance-model/lnvm-vol-surface/>>. Acesso em: 31 de mar de 2014).

O gráfico acima mostra o comportamento dos *smiles* de volatilidade para as diferentes datas de exercício. Percebe-se que combinações diferentes de preço de exercício-data de vencimento podem apresentar volatilidades implícitas diferentes. É importante lembrar que tanto o *smile* de volatilidade quanto a superfície de volatilidade referem-se apenas à volatilidade implícita.

3.4 GREGAS

Esta seção lista as medidas de sensibilidade dos preços das opções às variáveis que influenciam seu preço. São medidas de curto prazo utilizadas para controlar em que medida as posições estão expostas aos diferentes riscos trazidos por cada uma das variáveis de que depende o preço de uma opção.

Delta (Δ)

O delta (Δ) indica a sensibilidade do preço de uma opção a variações no preço do ativo objeto⁵⁰. Quando apresentado em termos monetários, mostra de quantos reais será a variação no preço da opção para uma variação de um real no preço do ativo. Em termos formais, define-se o delta como a primeira derivada do preço da opção em função do preço do ativo objeto, segundo a notação:

—

Onde C é o preço da opção obtido pelo modelo de precificação utilizado e S é o preço do ativo objeto.

No caso do modelo Black & Scholes, essa medida de sensibilidade é dada pela equação⁵¹:

— = — —

Onde $N(\cdot)$ é a distribuição normal acumulada; σ é a volatilidade entendida como desvio padrão; t , tempo até o vencimento da opção; S , o preço da ação e K , o preço de exercício da opção. O delta varia somente no intervalo aberto de 0 a 1, porque a variação de um real no preço da ação não pode incorrer em variação maior no preço da opção, nem em variação no sentido oposto.

⁵⁰ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁵¹ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

Quando se montam operações compostas por mais de uma opção, as quais usualmente se denominam operações estruturadas, o delta da posição é dado pela soma dos deltas das opções que compõem essa operação. É frequente a utilização do delta para anular o efeito de pequenas variações no preço do ativo objeto sobre o valor da posição: são as operações *delta-neutral* ou *delta-zero* ou, ainda, *delta-hedge*. Devido ao fato de que o delta depende também do preço do ativo objeto, grandes variações no preço desse último mudarão o valor do delta de uma opção, o que obrigará o detentor de uma posição delta-neutra a ajustar as quantidades de opções do portfólio, de maneira a manter . Neste trabalho, as posições simuladas não objetivarão neutralizar o delta, pois os riscos máximos e lucros máximos da serão conhecidos já na abertura da operação e mantidos até o momento de saída.

Gamma

O gamma é a sensibilidade do delta à variação do preço do ativo objeto⁵². Formalmente, é a segunda derivada do preço da opção em relação ao preço da ação. No modelo de Black & Scholes, a fórmula⁵³ para o gamma é:

$$\Gamma = \frac{f''(S)}{\sigma \sqrt{T-t}}$$

Sendo a função de densidade de probabilidade da distribuição normal padronizada.

Consequentemente, considerando que o coeficiente $\frac{f''(S)}{\sigma \sqrt{T-t}}$ é sempre , e que o outro fator é uma função de densidade de probabilidade, temos que o gamma de uma opção será, da mesma forma, sempre positivo.

Isso implica que a representação gráfica da fórmula do preço da opção, em relação ao preço da ação, seja sempre convexa, pois o incremento no preço da opção será tanto maior quanto maior o preço da ação. O gamma também pode ser compreendido como a primeira derivada de delta em relação ao preço da ação.

Rô

A medida de sensibilidade do preço de uma opção à variação na taxa de juro sem risco da economia é dada pelo rô⁵⁴. O efeito da variação da taxa de juro é tanto mais relevante quanto maior o tempo até o vencimento, pois o fator tempo potencializa a alteração do custo

⁵² VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁵³ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁵⁴ BUCHANAN, J. Robert. **The greeks: Derivatives of Option Prices. An Undergraduate Introduction to Financial Mathematics**. World Scientific Publishing Company, 2010

de oportunidade de se manter um determinado valor imobilizado em uma opção. Formalmente, ρ é a derivada da função do preço da opção em relação à taxa de juros. Segundo Buchanan (2010, p. 6), no modelo de Black & Scholes (1973), o ρ é dado por⁵⁵:

$$\frac{\partial C}{\partial r} = -\frac{C}{r} - \frac{C}{r^2} - \frac{C}{r^3} - \frac{C}{r^4} - \frac{C}{r^5} - \frac{C}{r^6} - \frac{C}{r^7} - \frac{C}{r^8} - \frac{C}{r^9} - \frac{C}{r^{10}}$$

Theta

O theta é a sensibilidade do preço da opção em relação ao tempo⁵⁶, ou seja, representa a variação do preço da opção provocada pela passagem de uma unidade de tempo (conforme a unidade utilizada), se os outros fatores permanecerem constantes.

No contexto deste trabalho, a fórmula⁵⁷ do theta é:

$$\theta = -\frac{C}{T} - \frac{C}{T^2} - \frac{C}{T^3} - \frac{C}{T^4} - \frac{C}{T^5} - \frac{C}{T^6} - \frac{C}{T^7} - \frac{C}{T^8} - \frac{C}{T^9} - \frac{C}{T^{10}}$$

Theta é sempre negativo⁵⁸, como se pode observar na equação acima, onde ambas as parcelas são negativas. Nota-se, portanto, que a passagem do tempo sempre atua de forma negativa no preço da opção, o que pode ser atribuído ao fato de que quanto menos tempo falte para o exercício, menor o intervalo de preço em que a ação pode variar e menor, também, o custo de oportunidade existente na comparação entre as alternativas de comprar uma opção ou aplicar o dinheiro à taxa de juros livre de risco da economia.

Theta mede a corrosão do valor extrínseco ou valor-tempo que ocorre à medida que se aproxima o vencimento, o que também é chamado, no jargão do mercado, de *time decay*.

Vega

Vega mede a resposta do preço da opção para variações na volatilidade da ação⁵⁹. Apesar de o modelo de Black & Scholes (1973) pressupor volatilidade constante, é possível aplicar o conceito para operar opções, utilizando-o, por exemplo, como medida da dimensão do erro que é possível cometer ao precificar opções com medidas imprecisas de volatilidade.

⁵⁵ BUCHANAN, J. Robert. **The greeks: Derivatives of Option Prices. An Undergraduate Introduction to Financial Mathematics**. World Scientific Publishing Company, 2010

⁵⁶ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁵⁷ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁵⁸ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁵⁹ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

É a derivada da fórmula do modelo Black & Scholes em relação à volatilidade e, como tal, sua fórmula⁶⁰ é:

$$-\frac{\sigma}{S} \frac{\partial C}{\partial \sigma}$$

Note-se que a fórmula do vega é similar à fórmula do gamma, diferindo apenas no fator que multiplica a função de densidade de probabilidade. Dessa forma, vega é sempre positivo e proporcional a gamma⁶¹.

3.5 OBSERVAÇÕES SOBRE O MODELO BLACK - SCHOLES

Algumas imperfeições podem ser observadas no modelo Black & Scholes (1973), que apesar de ser uma fórmula matemática, apresenta problemas no que diz respeito a fornecer com precisão o preço real de uma opção. Uma evidência empírica da imperfeição do modelo é o próprio fenômeno da curva *smile* de volatilidade, que “evidencia que os parâmetros de assimetria e curtose da distribuição de probabilidade teorizada não refletem com a realidade do mercado” (VIEIRA, 2011).

A premissa de não pagamento de dividendos pela ação objeto da opção não pode ser admitida em muitos casos, inclusive no que é estudado aqui. No mercado brasileiro, procura-se atenuar o efeito dos dividendos pagos pela ação através de ajuste no preço de exercício da opção. Da mesma forma, o pressuposto da inexistência de custos transacionais também não se aplica, bem como o da não existência de impedimentos para vender a descoberto.

Outra observação muito importante para quem busca fazer o *hedge* de suas posições utilizando as gregas obtidas a partir do modelo de Black & Scholes (1973) para ajustar a carteira é a perda de precisão em momentos de grandes variações no preço da ação objeto, especialmente quando estes se movem de maneira descontínua, apresentando “saltos” em sua trajetória. Nestes momentos, o desempenho do *hedge* dinâmico se deteriora, isto é observado no estudo de Carr & Wu (2014, pp. 43,44), no qual é proposta uma nova abordagem de *hedge* estático mais robusta, que obtém desempenho superior à de uma estratégia de *hedge* dinâmico que ajuste sua posição diariamente.

⁶⁰ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

⁶¹ VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011

4 OPERAÇÕES ESTRUTURADAS

As operações estruturadas são operações compostas por mais de uma opção e podem envolver combinações do ativo principal e suas opções ou apenas opções. Objetivam gerenciamento de risco do capital através de controle da exposição a riscos determinados, redução de custos operacionais e maximização de lucros⁶².

Uma situação na qual existe a possibilidade de gerenciamento de riscos e redução de custos, por exemplo, é quando se realiza uma operação conhecida no mercado brasileiro como “financiamento”, na qual é comprada a ação e é vendida uma opção de compra “fora do dinheiro” (é comum que se denomine financiamento a outras operações que não envolvem as ações objeto e são feitas apenas com opções), com isso, é reduzido o valor do descaixe resultante da compra da ação.

Ao executar tal estratégia, o investidor acredita que é um bom momento para comprar a ação, mas não acredita que ela subirá ao nível necessário para que a opção vendida seja exercida, e esta, no jargão do mercado, “virará pó”.

Por exemplo, o investidor A pode comprar 100 ações PETR4 ao preço de R\$ 20,00 incorrendo no descaixe de R\$ 2.000,00, ao mesmo tempo em que vende 100 opções de compra PETRA22, ao preço de R\$ 0,40 gerando um caixa de R\$ 40,00. Sua posição, então, gerou descaixe líquido de R\$ 1.960,00. Se a ação subir 9% até a cotação de R\$ 21,90, o comprador da opção não terá interesse em exercê-la, a opção PETRA22 “vira pó” e o investidor A estará lucrando R\$ 230,00, o que representa 11,73%. O leitor atento rapidamente perceberá que o ele também se protegeu de uma eventual queda de 2% da PETR4, até a cotação de R\$ 19,60, que passa a ser seu preço médio⁶³ abaixo da qual ele incorreria em prejuízo. Ele poderá sempre vender 100 opções a cada vencimento, gerando caixa e reduzindo cada vez mais o seu preço de compra nas PETR4.

Para compreender o potencial de maximizar lucros utilizando operações estruturadas com opções, a trava é um exemplo bastante adequado. A dinâmica da estratégia será explicada com detalhes ao longo deste capítulo, mas para fins de exemplificar uma situação onde uma operação estruturada é realizada com a finalidade de maximizar lucros, podemos acompanhar a simplificação a seguir.

⁶² NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994.

⁶³ Preço médio, neste contexto, é o preço que é utilizado para fins de determinar o valor a partir do qual a posição incorre em prejuízo.

Um investidor que, por alguma razão, por exemplo, o resultado das eleições, tenha a expectativa de forte alta, de 30% até a data de vencimento de opções mais próxima, para as ações da Petrobrás S.A. Ele pode comprar ações, ou montar uma trava de alta. Na hipótese de o preço à vista ser de R\$ 20,00, com R\$ 2.000,00, ele compra 100 ações. Se sua expectativa se confirmar, a ação vai a R\$ 26,00 e o lucro dele será de R\$ 600,00 (para simplificar o exemplo, não é considerado nenhum custo transacional).

Se ao invés disso, o investidor, possuidor de sólido conhecimento sobre o mercado de opções, verifica que as opções de compra PETRW23, com preço de exercício R\$ 23,00, estão sendo negociadas por R\$ 0,20, e as opções de compra PETRW20, com preço de exercício R\$ 20,00, estão sendo negociadas a R\$ 1,00, ele rapidamente se dá conta que utilizando apenas R\$ 1.500,00 como margem de garantia, ele pode montar uma trava de alta, comprando 500 PETRW20 e vendendo 500 PETRW23, o que resultará no descaixe líquido de R\$ 400,00, que somados à margem de garantia, totalizam R\$ 1.900,00 de seu patrimônio envolvidos na operação.

Se a expectativa dele se confirmar, e o preço da ação estiver em R\$ 26,00 no dia do vencimento, ele encerrará a operação comprando 500 opções PETRW23 por R\$ 3,00 cada (pois no dia do exercício o preço da opção vale exatamente a diferença entre o preço à vista da ação e o preço de exercício da opção), e vendendo 500 opções PETRW26 por R\$ 6,00 cada, gerando um encaixe de R\$ 1.500,00. Descontado o descaixe necessário para abrir a operação (R\$ 400,00), o lucro da operação é de R\$ 1.100,00. Neste exemplo bastante simplificado, para a mesma expectativa a respeito do preço da ação, utilizando 5% a menos de seu patrimônio, o lucro foi 83% maior.

Os exemplos anteriores ilustram algumas situações alternativas onde as operações estruturadas atendem a distintos propósitos específicos, contudo as possibilidades vão muito além dos exemplos apresentados e não se pretende aqui esgotar o tema. Dito isto, prossegue-se ao estudo das estratégias que serão simuladas neste trabalho.

4.1 TRAVAS

Uma trava é uma operação estruturada que envolve duas opções sobre a mesma ação, com vencimento na mesma data, porém com preços de exercício diferentes. Uma delas será comprada, a outra vendida⁶⁴. O critério para escolher qual opção vender e qual comprar

⁶⁴ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994.

normalmente está relacionado com a expectativa do operador quanto à direção que poderá assumir o preço da ação. Isto porque a combinação escolhida pode apresentar no vencimento uma variedade limitada de resultados, os quais dependem do preço a que a ação estará sendo negociada no dia do vencimento. A variedade de resultados possíveis para uma operação estruturada é conhecida como função *payoff*, ou simplesmente, *payoff*. A possibilidade de utilizar as combinações de diferentes opções disponíveis para criar uma grande variedade de *payoffs* possíveis é um dos principais atrativos das opções. É possível criar tantas operações estruturadas quanto existirem preços de exercício disponíveis para as opções, cada uma com seu respectivo *payoff*. Uma trava também configura eficiente mecanismo para reduzir o custo da compra de uma opção, com a contrapartida de limitação do lucro potencial, a partir de determinado preço do ativo objeto. Verifica-se que, analogamente a uma posição comprada, uma trava sempre terá um risco máximo previamente estabelecido, o que permite que seja utilizada com o intuito de alavancar uma posição em uma direção. A seguir apresentaremos duas das travas mais conhecidas.

4.1.1 Trava de alta com opções de compra

A trava de alta é uma operação idealizada para quando existe expectativa de alta no preço da ação objeto. Esta estratégia minimiza tanto o risco de prejuízo quando a ação se move na direção contrária, porém limita a possibilidade de lucro da posição quando ocorre a alta esperada⁶⁵.

Nesta estratégia, compra-se uma opção de compra (*call*) de preço de exercício (*strike*) A e vende-se outra *call* de preço de exercício (*strike*) B, sendo $B > A$ ⁶⁶. Essa operação será realizada por quem espera uma alta no preço do ativo objeto, mas acredita que essa alta não excederá o preço B. Assim, é reduzido o preço de compra da opção de preço de exercício A, com a contrapartida de limitar seu potencial de ganho. Nessa operação, portanto, haverá um desencaixe líquido de prêmio que deve ser coberto total ou parcialmente no fechamento da operação. Supondo uma *call* de preço de exercício R\$ 25,00, com prêmio de R\$ 1,50, e outra de R\$ 35,00, com prêmio de R\$ 0,40, a Tabela 3 a seguir ilustra os retornos possíveis para a operação na data de vencimento.

⁶⁵ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994

⁶⁶ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994.

Tabela 3 *Payoff* Trava de Alta com opções de compra.

Operação	Tipo	Qtd.	E	P	Preços possíveis da ação no vencimento				
					20,00	25,00	30,00	35,00	40,00
					Pço. da opção correspondente ao pço. da ação, no vencimento.				
Compra	<i>call</i>	1	25,00	-1,50	0,00	0,00	5,00	10,00	15,00
Venda	<i>call</i>	1	35,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00
Resultado Operação					Resultado da trava para cada preço da ação, no vencimento				
					-1,10	-1,10	3,90	8,90	8,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Onde:

Compra = Posição comprada;

Venda = Posição vendida;

Tipo = Call ou put;

Qtd. = Quantidade;

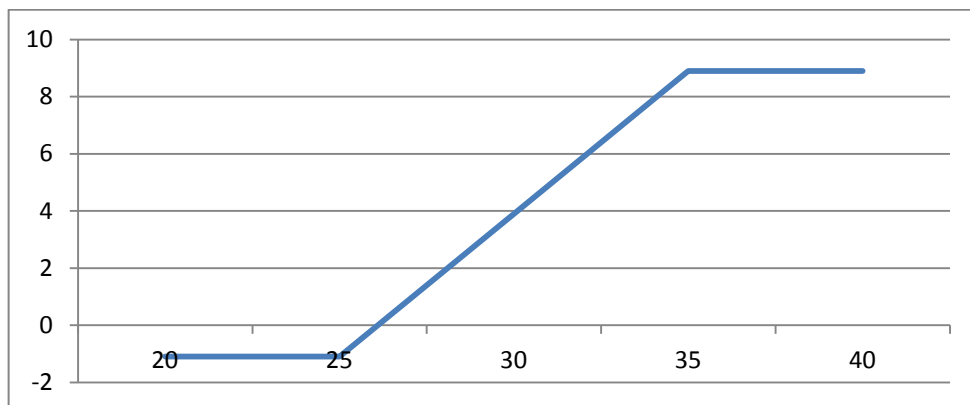
E = Preço de exercício;

P = Prêmio: negativo se a posição é comprada, positivo se a posição é vendida.

Observa-se que a perda máxima da operação é de R\$ 1,10, referente à diferença entre o prêmio pago e o recebido, ou prêmio líquido, e que esse será o resultado da operação para qualquer valor da ação-objeto abaixo de R\$ 25,00. O retorno máximo é de R\$ 8,90, que é a diferença dos preços de exercício subtraídos do prêmio líquido, quando a ação-objeto estiver cotada acima de R\$35,00. Esse tipo de posição implica expectativa de alta para a ação-objeto.

A representação gráfica da posição para o dia do vencimento está apresentada na Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Trava de alta com opções de compra.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Trava de baixa com opções de compra

Esta operação foi concebida para quando existe expectativa de baixa no preço da ação objeto. Esta estratégia limita tanto o potencial de lucro da posição quando ocorre a queda esperada, quanto o risco de prejuízo quando a ação se move na direção contrária⁶⁷.

Nessa operação, a compra e a venda de opções de compra resultam em ganho quando o preço do ativo objeto cai. Isso ocorre pois essa posição consiste na compra de uma opção com preço de exercício (*strike*) mais alto, combinada com a venda de uma opção com preço de exercício (*strike*) mais baixo. Ao contrário do que acontece na posição explicada anteriormente, na abertura dessa operação haverá um encaixe líquido de prêmio.

Consideremos a seguinte operação, a título de exemplo: venda de uma *call* de preço de exercício de R\$ 24,00 por R\$ 1,20 e compra de uma *call* de preço de exercício de R\$ 25,00 por R\$ 0,50. A Tabela 4 a seguir apresenta alguns resultados possíveis na data de vencimento das opções.

Tabela 4: *Payoff* Trava de Baixa com opções de compra.

Operação	Tipo	Qtd.	E	P	Preços possíveis da ação no vencimento				
					23,00	24,00	25,00	26,00	27,00
					Pço. da opção correspondente ao pço. da ação, no vencimento.				
Compra	<i>call</i>	1	24,00	1,20	0,00	0,00	1,00	2,00	3,00
Venda	<i>call</i>	1	25,00	0,50	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00
Resultado Operação					Resultado da trava para cada preço da ação, no vencimento				
					<u>0,70</u>	<u>0,70</u>	<u>-0,30</u>	<u>-0,30</u>	<u>-0,30</u>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Onde:

Compra = Posição comprada;

Venda = Posição vendida;

Tipo = Call ou put;

Qtd. = Quantidade;

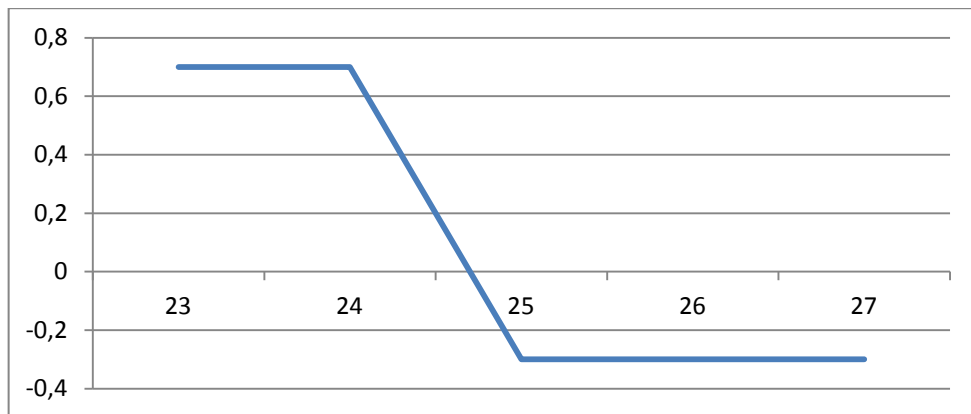
E = Preço de exercício;

P = Prêmio: negativo se a posição é comprada, positivo se a posição é vendida.

⁶⁷ NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994

Observe-se que o retorno máximo da operação ocorre nos pontos em que nenhuma das opções é exercida, ou seja, quando o ativo objeto tem preço inferior a R\$ 24,00. O risco máximo é de R\$ 0,30. Analogamente à posição anterior, a execução dessa operação também implica em expectativa de movimento do preço da ação-objeto em determinada direção; nesse caso, para baixo. A Figura 6 ilustra as possibilidades para a posição no dia do vencimento.

Figura 6 – Trava de baixa com opções de compra.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O leitor mais atento perceberá uma peculiaridade deste tipo de operação. Quando o preço da ação assume uma direção desfavorável e sua cotação supera o preço de exercício da opção comprada (a de *strike* maior), no momento de encerrar a operação nenhuma das opções terá virado pó, pois são duas opções de compra e a ação se valorizou. Isto implica em que, para fechar a operação, o investidor terá que vender a opção de *strike* menor e usar o saldo proveniente para pagar parte da recompra da opção de *strike* maior. Nesta situação, sempre o valor obtido da venda das opções de exercício menor no encerramento da trava será menor do que o valor necessário para a recompra daquelas de exercício maior, que deve ser executada para fechar a operação. A diferença será sempre o exato valor da diferença entre os preços de exercício multiplicado pela quantidade de opções em cada ponta da trava, e este valor será o risco máximo deste tipo de operação.

5 OPERAÇÕES SIMULADAS

As operações simuladas nesse trabalho foram travas de alta e de baixa. Apesar de esse tipo de operação estar fortemente ligado à expectativa do operador sobre a direção do ativo objeto, nesse trabalho o critério para abertura e fechamento das operações foi a disparidade entre o preço de mercado e o preço teórico das opções, dado pelo modelo Black & Scholes (1973), considerando os preços de fechamento a cada período de dez minutos de negociação. Para a tomada de decisão foi desconsiderada qualquer estimativa de tendência esperada para a ação-objeto.

As operações ocorrem quando os preços de mercado das opções oferecem um fluxo financeiro mais vantajoso para a entrada nelas do que o fluxo que aconteceria pela operação se essa fosse feita pelos preços teóricos das opções. Entendemos por mais vantajoso um maior encaixe obtido na execução da trava de baixa aos preço de mercado em relação ao encaixe que seria obtido se os fosse executado pelos preços fornecidos no modelo de Black & Scholes (1973). Nas travas de alta, entendemos que a oportunidade de abertura da posição é dada quando o desencaixe resultante da execução da operação aos preços de mercado é menor do que o desencaixe que teríamos se a operação fosse executada às cotações calculadas pelo modelo de apreçamento em questão. O intuito é trabalhar com as diferenças entre os preços de mercado e os preços dados pelo modelo de Black & Scholes (1973).

5.1 DADOS UTILIZADOS

Para que se pudessem simular operações utilizando esse critério de distorção, foi necessário comparar os preços reais das opções com preços teóricos calculados para as mesmas. O cálculo do preço teórico foi feito de acordo com o modelo Black & Scholes (1973); para tanto, foi necessário coletar cotações do ativo objeto, da taxa de juro e das opções, para calcular as volatilidades implícitas e, posteriormente, os preços teóricos. As séries históricas de cotações utilizadas foram obtidas pelo sistema *ProfitChart RT Nelogica*. Observou-se o período entre 02/09/2013 e 29/10/2013.

5.2 OPÇÕES

Foram simuladas operações com opções sobre ações preferenciais da Petrobrás, com vencimentos em outubro (série J), novembro (série K) e dezembro (série L), que estivessem dentro do dinheiro, fora do dinheiro e, preferencialmente, no dinheiro ou muito próximo disso. Isto posto, foram observadas séries históricas de cotações de dezessete opções, quatro delas com vencimento no dia 21 de outubro, seis com vencimento em 18 de novembro e sete opções com vencimento em 16 de dezembro. Os códigos das opções estão listados no Quadro 3, a seguir, e são apresentadas estatísticas descritivas das mesmas.

Quadro 3: Opções e estatísticas descritivas.

	MÉDIA	DESV.PAD.	ASSIMETR	CURTOSE
PETRJ18	R\$ 1,29	0,36	0,09	-0,78
PETRJ19	R\$ 0,66	0,29	0,01	-0,76
PETRJ20	R\$ 0,17	0,10	0,26	-0,29
PETRK16	R\$ 2,66	0,41	0,87	1,24
PETRK17	R\$ 1,82	0,38	0,89	0,38
PETRK18	R\$ 1,59	0,35	0,57	0,12
PETRK19	R\$ 0,64	0,22	0,38	-0,82
PETRK20	R\$ 0,52	0,19	0,32	-0,93
PETRK21	R\$ 0,15	0,08	0,65	-0,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 ATIVO OBJETO

Para calcular o preço teórico das opções, faz-se necessário dispor de uma série histórica das cotações do ativo objeto; nesse caso, as ações preferenciais da Petrobrás, negociadas em bolsa sob o código PETR4.

5.4 JUROS

A taxa de juro imputada no modelo é a do contrato futuro de dezembro (DI1Z13), sendo que para cada preço teórico foi considerada a taxa de fechamento do pregão anterior, ou seja, foi utilizada uma série diária do contrato futuro de DI (Depósito Interbancário, juros). Isso não prejudica a estimação do preço teórico pelo modelo, uma vez que séries históricas

intraday de contratos futuros de DI frequentemente apresentam lacunas sem variação e, em alguns momentos, até sem negociação.

5.5 TEMPO ATÉ O VENCIMENTO

Apesar de usarmos o período intradiário de dez minutos para as operações, o tempo restante até o vencimento utilizado nos algoritmos que calculam tanto a volatilidade implícita como o preço teórico é dado em dias.

5.6 PREÇO TEÓRICO

A partir dos dados anteriores, foram obtidas séries históricas de volatilidades implícitas e, com o uso dessas, obtiveram-se os preços teóricos que serviram como critério para abertura e fechamento das operações na simulação.

5.7 O CÔMPUTO DO PREÇO TEÓRICO

5.7.1 Volatilidade implícita

Como explicado anteriormente, para obter o preço teórico de uma opção é necessário conhecer a volatilidade do ativo objeto. Neste estudo optou-se por trabalhar com a volatilidade implícita, que pôde ser obtida das cotações das opções e do ativo objeto através de método numérico iterativo, pois, como explicado no capítulo 3, essa variável não pode ser isolada na equação do modelo Black & Scholes. Para cada intervalo de 10 minutos foi obtido um valor para σ . É importante observar que nas séries históricas intradiárias das cotações das opções também ocorreram lacunas e optou-se por desconsiderar os períodos em que estas ocorreram. Somente foram calculadas as volatilidades implícitas quando estavam disponíveis os preços de mercado das opções respectivas. Foi utilizado um algoritmo programado em VBA no Microsoft Excel.

5.7.2 Preço teórico

Uma vez disponíveis as séries de volatilidades implícitas das opções no período, os preços teóricos das opções foram calculados a partir da cotação de fechamento da PETR4 (no

intraday, a cada período de dez minutos), da volatilidade obtida pelos fechamentos do intervalo imediatamente anterior, da taxa de juros do fechamento do pregão anterior e, finalmente, da quantidade de pregões até o vencimento da opção. Lembrando que nos momentos sem liquidez das opções ocorreram períodos para os quais não foram definidas volatilidades implícitas, o que causou lacunas também nos preços teóricos das opções. Tanto os momentos em que não houve negociação de uma das opções quanto os momentos nos quais é impossível obter o preço teórico pela falta da volatilidade implícita anterior foram desconsiderados da análise.

É importante observar que, apesar de o cálculo ser feito para cada intervalo de dez minutos, a taxa de juros é imputada no modelo em bases diárias. Apesar disso, a referência a ela se realiza em bases anuais, para manter o padrão de apresentação dos apêndices, da mesma forma, a volatilidade é também referida em base anual. Foi utilizado um algoritmo programado em VBA no Microsoft Excel.

5.8 AS OPERAÇÕES

5.8.1 Os custos

Para que os resultados da simulação possam representar a realidade com maior fidelidade, os custos transacionais envolvidos na execução de operações no mercado real devem ser considerados. Para agentes do mercado que operam com altíssima frequência, a praxe é a cobrança de corretagem variável (a corretagem varia de acordo com o valor negociado) de 0,5%, com desconto de 98%, o que resulta em taxa de corretagem variável de 0,01%. Os emolumentos são da ordem de 0,0325% – ambos incidem sobre o valor movimentado na abertura e no fechamento das operações. Para tanto foram criadas fórmulas no Microsoft Excel que realizassem as operações aritméticas.

Conhecidos os custos e especificados seus valores, apresenta-se o cálculo destes, que pode ser denotado como a seguir:

e

Onde:

- : Custo total de abertura da operação.
- : Custo total de encerramento da operação.
- : Quantidade da opção
- : Quantidade da opção
- : Preço de mercado da opção
- : Preço de mercado da opção

5.8.2 As travas

Todas as travas simuladas foram compostas por 2.000 opções compradas e 2.000 vendidas. Operar dessa forma permite que seja conhecido, desde o início, o risco máximo da operação. Nas travas de baixa, será sempre a diferença entre o preço de vencimento das opções, multiplicada pela quantidade utilizada e subtraída do fluxo financeiro inicial.

Por exemplo, em uma trava de baixa entre as opções PETRK18 e PETRK19 – cujos preços de exercício são, respectivamente, R\$ 18,00 e R\$ 19,00 –, onde sejam compradas 2.000 PETRK19 a R\$ 0,25 e vendidas 2.000 PETRK18 a R\$ 0,50, o fluxo inicial é uma saída de $2.000 \times R\$ 0,25 = R\$ 500,00$ e uma entrada de $2.000 \times R\$ 0,50 = R\$ 1.000,00$ resultando em movimentação total de R\$ 1.500,00, que gera um custo de abertura da operação de R\$ 0,64, conforme foi explicado no item anterior, totalizando uma entrada líquida de R\$ 499,36.

Observe que a diferença entre o preço de exercício das opções é de R\$ 1,00, logo, o primeiro valor a compor o risco da operação é $2.000 \times R\$ 1,00 = R\$ 2.000,00$, pois, se a ação objeto superar o valor de R\$ 19,00 na data de vencimento, atingindo, por exemplo, R\$ 20,00 o encerramento da operação implicará em vender as 2.000 opções PETRK19, que nesse instante estarão cotadas em R\$ 1,00 ($R\$ 20,00 - R\$ 19,00 = R\$ 1,00$), obtendo um encaixe de R\$ 2.000,00; e recomprar as 2.000 opções PETRK18, que nesse instante estarão cotadas a R\$ 2,00 ($R\$ 20,00 - R\$ 18,00$), incorrendo em desencaixe de R\$ 4.000,00, totalizando movimentação de R\$6.000,00, que gera o custo de fechamento da operação de R\$ 1,95; portanto, o encerramento da operação dá-se com um desencaixe líquido de R\$ 2.000,00.

Este é o risco máximo da operação. Entretanto, recorde-se que a operação iniciou-se com um encaixe de R\$ 500,00, portanto, nesta hipótese, o prejuízo seria de R\$ 1.503,19.

A operação descrita acima pode ser denotada da seguinte forma:

Trava de baixa

+

Onde:

Preço de mercado inicial da opção de compra com *strike* menor.

Preço de mercado inicial da opção de compra com *strike* maior.

Preço de mercado final da opção de compra com *strike* menor.

Preço de mercado final da opção de compra com *strike* maior.

: Custo total de abertura da operação.

: Custo total de encerramento da operação.

Desta forma,

(i)

(ii)

(iii)

(iv)

(v)

Substituindo-se (i), (ii), (iii), (iv) e (v) em (19), temos:

Percebe-se que o pior cenário possível para a operação é chegar ao dia de vencimento com a ação-objeto PETR4 cotada acima de R\$ 19,00, pois qualquer que seja o preço acima desse patamar, o fluxo financeiro do encerramento da operação sempre será de pouco mais que R\$ 2.000,00, e o caixa gerado no início da operação será conhecido no momento da abertura.

Analogamente, nas travas de alta, sempre o valor do fluxo inicial da operação será um descaixe, e o fluxo final um encaixe que, como na trava de baixa, também tem seu valor máximo conhecido no momento da abertura e este é determinado pelos *strikes* das opções envolvidas. Desta forma, segue-se que:

Onde:

Preço de mercado inicial da opção de compra com *strike* menor.

Preço de mercado inicial da opção de compra com *strike* maior.

Preço de mercado final da opção de compra com *strike* menor.

Preço de mercado final da opção de compra com *strike* maior.

: Custo total de abertura da operação.

: Custo total de encerramento da operação.

5.8.3 Abertura das travas

As operações foram abertas e fechadas de acordo com critérios específicos. As entradas ocorriam quando o fluxo gerado pela trava composta por uma opção comprada e uma opção vendida, a preço de mercado, era, no mínimo, R\$ 40,00 mais vantajoso do que o fluxo gerado pela trava nos preços teóricos.

Conforme o funcionamento das travas apresentado no capítulo 4, entende-se como mais vantajoso um descaixe menor do que aquele que seria gerado por uma trava de alta executada aos preços teóricos, ou um encaixe maior do que aquele que seria gerado por uma trava de baixa executada pelos preços teóricos.

Esse critério independe da direção do mercado; está pautado apenas na diferença entre os fluxos financeiros teóricos calculados a partir dos preços fornecidos pelo modelo, e os fluxos financeiros reais, fornecidos pelo mercado. Para tanto, foram criadas fórmulas no Microsoft Excel para executar os cálculos aritméticos necessários.

Limitamos a R\$ 120,00 a diferença máxima entre os fluxos das travas nos preços de mercado e nos preços teóricos, por entender que discrepâncias muito expressivas entre os resultados obtidos pelo modelo e os resultados fornecidos pelo mercado podem significar situações atípicas, que reduzam a precisão do modelo ou, caso as operações fossem realizadas em tempo real, situações para as quais os recursos computacionais disponíveis não sejam suficientes para trabalhar dessa forma.

Por tratar-se de uma simulação feita a partir de dados do passado, não houve demanda por computadores de alto desempenho, mas na hipótese de se executar a estratégia simulada em tempo real, certamente seria necessária alta velocidade tanto na conexão com a internet como no processamento de dados, visto o número de etapas do processo, cada qual consiste

em uma apuração de valor e decisão entre duas possibilidades dependendo dos valores apurados.

5.8.4 Fechamento das travas

O critério para a saída das operações é a anulação dessa diferença de fluxo, ou seja, quando o fluxo da operação possível no mercado é igual ao fluxo obtido pelos preços teóricos, o que ocorreu quase na totalidade das vezes quando os preços teóricos e os preços de mercado das opções coincidiam. Ao fechamento de cada trava, observou-se o resultado financeiro da operação. Como nas etapas anteriores, utilizaram-se fórmulas no Microsoft Excel para realizar os cálculos aritméticos necessários.

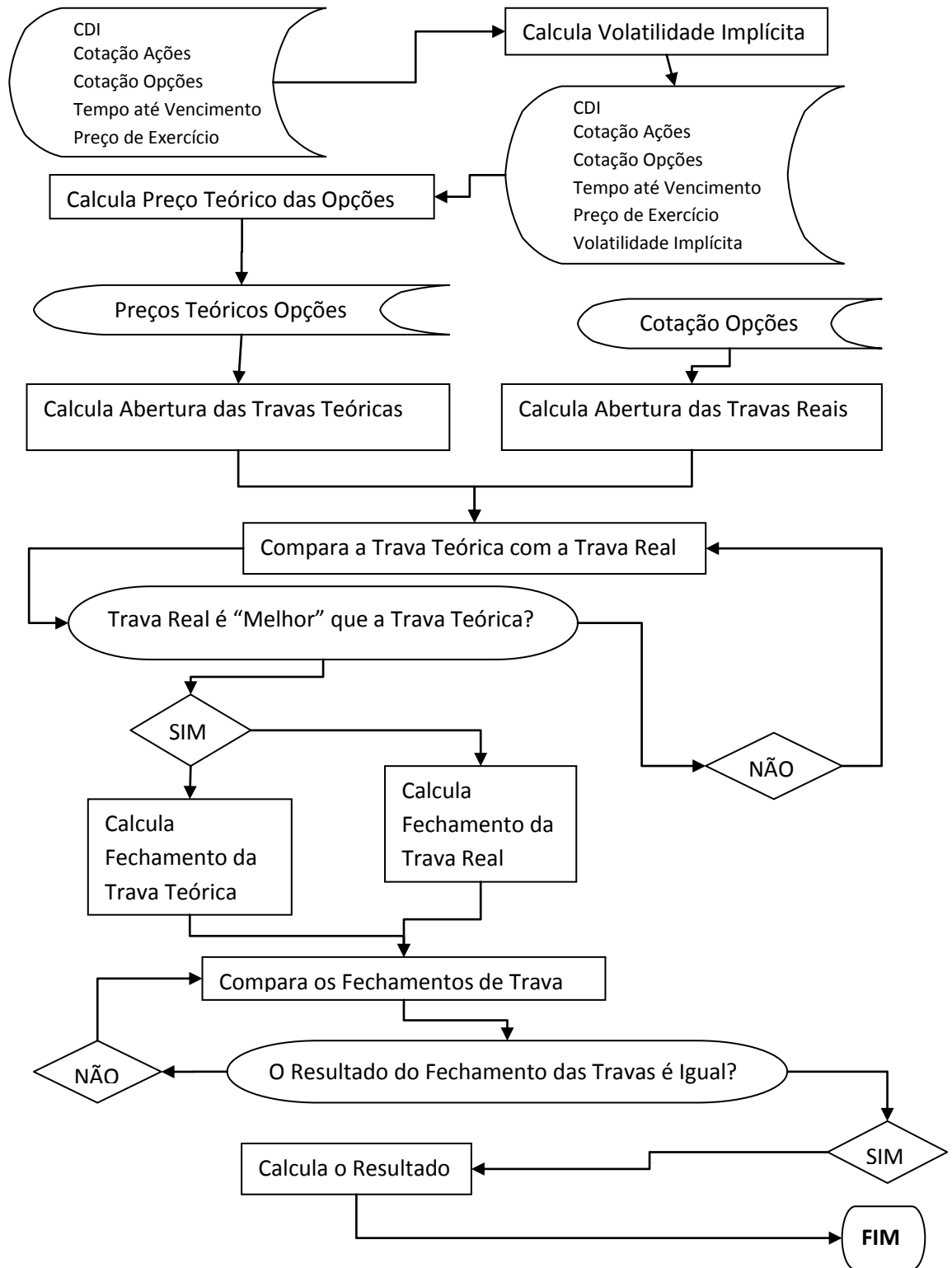
5.9 O PROCESSO

Uma vez definidos todos os critérios para as operações que serão simuladas, é necessário obter as séries históricas dos dados necessários e organizá-las de maneira que as cotações intradiárias de períodos de dez minutos das ações e opções sejam agrupadas por instante no tempo, em seguida é feito a apuração da volatilidade implícita para cada instante no mesmo intervalo de tempo e com mesmo período, para tanto, as variáveis preço de mercado da opção, preço da ação, tempo até o vencimento e taxa de juros são imputadas em um algoritmo (anexo) que calcula iterativamente a volatilidade implícita a partir da fórmula de Black & Scholes (1973).

A volatilidade implícita para cada instante da série é obtida a partir das outras variáveis (tempo até o vencimento, taxa de juros, preço da ação e preço real da opção) do mesmo período, entretanto, o preço teórico obtido pelo modelo Black & Scholes (1973) considerará as variáveis (tempo até o vencimento, taxa de juros, preço da ação) do mesmo período, porém a volatilidade implícita do período anterior, pois no mercado real a volatilidade implícita é obtida a partir de dados resultantes de negócios que ocorreram no instante imediatamente anterior, mas o preço teórico obtido com o uso dessa volatilidade implícita seria confrontado com o preço das ofertas presentes, dito isto, é relevante observar que na simulação o preço teórico obtido é confrontado com o preço de fechamento do período de dez minutos registrado na série histórica, dada a indisponibilidade de séries históricas das ofertas.

Disponibilizadas as séries dos preços teóricos, o próximo passo foi executar as simulações das operações. O intuito é identificar oportunidades de negócio quando os preços dados pelo modelo apresentarem resultados diferentes dos oferecidos pelos preços de mercado. Trabalhou-se exclusivamente com travas de alta com opções de compra e travas de baixa com opções de compra. O disparo das operações, conforme explicado anteriormente, ocorre quando o fluxo da operação oferecido pelos preços de mercado é mais vantajoso do que o fluxo da operação previsto pelos preços teóricos, conforme explicado no item 5.8.3. Tendo sido dito tudo isto, conhece-se então, os elementos de nosso processo, que é ilustrado no fluxograma que está apresentado na Figura 7 a seguir:

Figura 7. Fluxograma do processo de simulação.



Para facilitar a compreensão, denota-se a simulação da trava de baixa:

Temos que a Trava de Baixa Pelos Preços de Mercado é dada por

$$+ \quad (19)$$

Onde o termo

representa a abertura da trava pelos preços de mercado e o termo

representa o encerramento da trava pelos preços de mercado.

Analogamente, a Trava de Baixa Pelos Preços Teóricos é dada por:

$$+ \quad (20)$$

Onde:

: Preço teórico inicial da opção de compra com *strike* menor

: Preço teórico final da opção de compra som *strike* menor

: Preço teórico inicial da opção de compra com *strike* maior

: Preço teórico final da opção de compra som *strike* maior

: Custo total da abertura da operação pelos preços teóricos

: Custo total de encerramento da operação pelos preços teóricos

Similarmente à explicação anterior, o termo

representa a abertura da trava pelos preços teóricos e

representa o encerramento da trava pelos preços teóricos.

Se

então, a trava é aberta executando-se a operação

E quando

a trava é encerrada executando-se a operação

Analogamente, o procedimento da simulação da trava de alta pode ser denotado como a seguir:

A Trava de Alta Pelos Preços de Mercado é dada por

(20)

Onde:

: Preço de mercado inicial da opção de compra com *strike* menor

: Preço de mercado final da opção de compra som *strike* menor

: Preço de mercado inicial da opção de compra com *strike* maior

: Preço de mercado final da opção de compra som *strike* maior

: Custo total da abertura da operação pelos preços de mercado

: Custo total de encerramento da operação pelos preços de mercado

Neste caso, o termo

representa a abertura da trava pelos preços de mercado e o termo

representa o encerramento da trava pelos preços de mercado.

Já a Trava de Alta Pelos Preços Teórico é dada por

Onde o termo

representa a abertura da trava pelos preços teóricos e o termo

Representa o encerramento da trava pelos preços teóricos.

Se

então, a trava é aberta executando-se a operação

E quando

a trava é encerrada executando-se a operação

Um exemplo numérico retirado das simulações pode ser utilizado para ilustrar: No dia 4/10/2013, no período encerrado às 10h50, as opções PETRJ18 e PETRJ19 cotavam R\$ 1,14 e R\$ 0,50, respectivamente, e seus preços teóricos apontavam R\$ 1,17 e R\$ 0,49, respectivamente. Portanto, para abrir uma trava de alta pelos preços de teóricos, o desencaixe seria de R\$ 1.361,41, conforme demonstrado a seguir:

*

$$= -1.361,41$$

Simultaneamente, havia no mercado a oportunidade de abrir essa trava por R\$ 1.278,68, conforme se verifica abaixo:

a condição

é satisfeita, pois

A diferença entre o desencaixe teórico e o desencaixe a preços reais é de R\$ 80,02, acima dos R\$ 40,00 que é a diferença mínima adotada como critério para a abertura da operação, e abaixo dos R\$ 120,00, que é o limite máximo para essa diferença, segundo a estratégia especificada. Disparam-se as ordens de compra de 2.000 PETRJ18 a R\$ 1,14 e de venda de 2.000 PETRJ19 R\$ 0,50, resultando em um desencaixe total de R\$ 1281,39. No

mesmo dia, às 16h, as cotações eram R\$ 1,39 e R\$ 0,65 e os teóricos eram de R\$ 1,39 e R\$ 0,65. Os valores coincidiam, satisfazendo a condição de encerramento da operação

A operação é encerrada executando-se a operação

A operação podia, portanto, ser fechada com o resultado de um encaixe de R\$ 1.478,29, já descontados os custos da operação conforme demonstrado anteriormente. O saldo líquido dessa operação, que ficaria aberta por 310 minutos, seria positivo, gerando lucro de R\$ 199,61.

Conhecidos os critérios para as decisões de abertura e fechamento das travas, organizamos as séries históricas de opções de maneira a analisar todos os pares possíveis de opções com a mesma data de vencimento que tivessem apenas R\$ 1,00 de diferença entre seus preços de exercício. Isso porque, conforme explicado no capítulo 4, nas travas de baixa o risco máximo é o produto da quantidade de opções em cada uma das pontas pela diferença entre os preços de exercício, logo, quanto maior a diferença entre os preços de exercício das opções envolvidas na trava, maior o risco assumido e maior a margem de garantia exigida; recordando também que nas travas de alta o risco máximo é o valor do desencaixe resultante da abertura da operação.

Essas simulações forneceram resultados observáveis, sobre os quais é possível levantar estatísticas que podem ser usadas para fins de aperfeiçoamento ou descarte das estratégias simuladas.

Informações como quantidade de operações que seriam realizadas em determinado período, índice de acerto, volumes financeiros movimentados e resultados das operações puderam ser verificadas nos resultados da simulação.

Para as opções utilizadas no exemplo que ilustrou o funcionamento da operação, PETRJ18 e PETRJ19, os resultados observados na simulação obtida a partir das cotações do período entre 02/09/2013 e 18/10/2013 estão relacionados na Tabela 5 a seguir, e os resultados para os outros pares testados encontram-se no Anexo B.

Tabela 5 – Resultados da simulação para o par PETRJ18 e PETRJ19

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	115
Acertos	68
Índice de acerto	59,13%
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	68
Acertos	29
Índice de acerto	15,56%
TOTAL	
Quantidade	183
Acertos	97
Resultado médio	R\$ 46,49
Soma dos resultados	R\$ 8.445,38
Índice de acerto	53,01%

Conforme pode ser verificado, um backtest fornece informações relevantes para quem deseje executar uma estratégia que combine operações estruturadas com algum modelo de apreçamento.

No caso em tela, (operações utilizando sempre 2.000 PETRJ18 e 2.000 PETRJ19 simuladas para o período entre 02/09/2013 e 18/10/2013) a estratégia resultou em um total de 183 travas disparadas, das quais 97 foram bem sucedidas, o que equivale a um índice de acerto de 53,01%. Destas, 115 foram travas de alta, com 59,13% de acerto, ou seja, 68 travas fechadas com lucro. As 68 travas de baixa restantes obtiveram 15,56% de acerto, correspondendo a 29 travas de baixa lucrativas.

O lucro total foi de R\$ 8.445,38, considerando-se o resultado de todas as operações. Ou seja, mesmo que 46,99% das operações tenha resultado em prejuízo, o resultado final foi positivo.

É importante compreender que nesta simulação não foi definido um montante de capital que limitaria a possibilidade de abertura das operações. Estas foram abertas sempre que os preços se enquadraram nos critérios estabelecidos, e quando os critérios para fechamento foram atendidos, as operações abertas até então foram fechadas. O maior número de operações abertas simultaneamente foi 69 operações, abertas no período entre as 10 horas do dia 02/09/2013 e 13 horas e 10 minutos do dia 12/09/2013, e encerradas ao final do período citado, quando os preços indicavam o fechamento. O valor que deveria estar aplicado

para permitir a manutenção dessas posições depende dos preços a que foram negociadas as opções no momento da abertura das travas, e do tipo de trava aberta. Não foi criada uma rotina para determinar esse valor, mas esta poderá ser desenvolvida em estudos posteriores.

O maior índice de acerto das travas de alta pode ser atribuído ao fato de que no período ocorreu uma leve tendência de alta no preço da PETR4, muito embora em alguns momentos observou-se que em intervalos imediatamente consecutivos foram abertas travas de alta e travas de baixa, que foram encerradas no mesmo momento posterior, ambas com lucro, o que nos leva a concluir que a estratégia não dependeria apenas da tendência para os preços da ação-objeto. Apesar disso, se observarmos o teste para este par de opções isoladamente, o resultado sugere que a estratégia pode ser aperfeiçoada adotando-se um mecanismo de rastreamento de tendência para condicionar o disparo das operações. Um indicador de *análise técnica*, como a combinação de duas médias móveis de períodos diferentes, por exemplo, poderia ser uma boa alternativa.

Ao observar os resultados dos testes com outros pares de opções, para o mesmo período, os resultados apontam para o fato de que a estratégia pode escapar à influência da tendência do preço das ações, como pode ser constatado nos resultados do teste para o par PETRJ19 e PETRJ20, no qual as travas de baixa obtiveram maior índice de acerto. O que pode ser entendido como fato conclusivo é que a estratégia dependeria principalmente da existência de alta liquidez para as opções que se deseja operar, visto que, em mais de um caso, não foi disparada uma trava sequer, especialmente quando se trabalhou com opções fora do dinheiro para vencimentos mais distantes. Os dados que sustentam estas conclusões podem ser verificados nas tabelas do Apêndice A, onde estão tabulados os resultados para os demais pares para os quais foram feitas simulações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da utilidade das séries históricas das cotações das opções, enfrentou-se dificuldade na obtenção dos dados necessários à realização deste estudo. Pelo fato das opções terem suas negociações interrompidas quando chegam as datas de vencimento, as instituições que oferecem ferramentas e bancos de dados para análise do mercado financeiro descartam as séries históricas das opções vencidas de seus arquivos logo após o vencimento, pois a manutenção desses dados implica um custo que essas empresas entendem como desnecessário. Até o presente momento, não obtivemos reposta da BMF & Bovespa sobre se a instituição dispõe desses dados para fornecer ao público gratuitamente.

Outra dificuldade significativa foi a necessidade de organizar os dados de maneira a unir em uma mesma tabela as séries históricas das cotações do ativo objeto, das cotações das opções e das taxas dos contratos de DI. No caso das cotações da PETR4 e das opções sobre essa ação, era fundamental que as datas e horários coincidisse para que se pudesse trabalhar corretamente com as séries históricas, porém, devido à diferença entre os horários de negociação do mercado de ações e do mercado de opções (opções não são negociadas no *after market*), as séries não poderiam ser simplesmente agrupadas lado a lado. Foi necessário desconsiderar as cotações da PETR4 que ocorreram depois das 17h00. Para tanto, foi desenvolvido um algoritmo que agrupa as cotações das ações e das opções de acordo com o horário.

A possibilidade de obter resultados legíveis em simulações de estratégias de operação, utilizando, integradamente, operações estruturadas e o modelo Black & Scholes (1973) de apreçamento de opções, permite que o desempenho de estratégias, pautadas ou não em modelos de apreçamento de opções, seja testado em diversos cenários passados, contribuindo tanto para o aperfeiçoamento das estratégias conhecidas como para o desenvolvimento de novas.

Mais aspectos podem ser adicionados ao processo de desenvolvimento da simulação e ao levantamento dos resultados, no intuito de aumentar a precisão e sofisticação dos resultados e informações fornecidos. É possível, por exemplo, calcular uma média das volatilidades implícitas obtidas para cada opção diferente da mesma ação, que pode ainda ser ponderada pelos volumes negociados das referidas opções durante o período analisado, ou, ainda, pode ser calculada uma medida mais precisa para a taxa de juros livre de risco do mercado, utilizando uma média dos contratos futuros de DI que vencem imediatamente antes

e imediatamente após o vencimento das opções – isso aumentaria a precisão da taxa de juros livre de risco do mercado imputada nos modelos, uma vez que, no mercado brasileiro de derivativos, as datas de vencimento dos contratos futuros de juros (DI) não coincidem com as datas de vencimento das opções sobre ações.

Outros dados relevantes, como o tempo de duração das operações e o volume financeiro estocado como margem de garantia da operação (quando essa é exigida), podem ser observados desde que haja disponibilidade de instrumentos mais sofisticados de processamento de dados e programação que por demandarem conhecimentos bastante específicos em outros campos científicos, além de serem tarefas por demais laboriosas para serem feitas por um único indivíduo, estão além da alçada deste trabalho.

Uma discussão bastante pertinente pode surgir da questão de qual a origem mais adequada dos valores reais das opções que serão usados para alimentar o modelo de apreçamento. No presente estudo, utilizaram-se cotações registradas em períodos de 10 minutos, por entender-se que estas fornecem uma representação satisfatória das reais possibilidades de negócio que existiram no passado, visto que consistem nos preços a que foram feitos os últimos negócios de cada período. Outra razão que favorece essa escolha é o fato de que agindo dessa forma é determinada uma estrutura temporal ao modelo, que, se assim não fosse, poderia resultar em muitas situações em que o valor do preço da opção utilizado para alimentar o modelo e obter a volatilidade implícita, que por sua vez alimenta o modelo novamente e fornece o preço teórico que deve ser confrontado com o valor real da opção, seria o próprio valor da opção. Ora, seria uma espécie de tautologia na programação do processo, pois o valor que alimenta o modelo induziria este último a fornecer o primeiro como resultado. Ao organizar as cotações em uma estrutura temporal, torna-se possível alimentar o modelo de apreçamento com o preço real anterior ao que será comparado com o preço teórico obtido.

Outro tema bastante vasto que pode ser discutido no estudo de maneiras de elaborar métodos para realizar *backtests* de estratégias que envolvam modelos de apreçamento consiste na possibilidade de utilizar outros modelos de apreçamento de opções. A possibilidade de flexibilizar as premissas do modelo Black - Scholes (1973), utilizando modelos que contemplem comportamentos mais complexos dos preços dos ativos objetos e das variáveis que influenciam o preço das opções, como saltos na variação do ativo objeto e variações aceleradas nas taxas de juros, pagamento de dividendos, entre outros.

Tendo sido feitas todas essas observações a respeito das possibilidades que podem ser exploradas no estudo deste tipo de metodologia, é sensato recomendar que a estratégia simulada neste trabalho não seja executada nos exatos moldes em que foi apresentada, pois os resultados da simulação, apesar de legíveis, são ainda superficiais, e servem apenas ao propósito de esboçar uma metodologia para construir uma simulação mais completa e precisa em estudos posteriores.

Apesar de ter sido proposto aqui um método para desenvolver simulações de operações com opções que combinam operações estruturadas com o modelo Black – Sholes de apreçamento, é importante frisar que, visto o alto grau de complexidade do funcionamento e da dinâmica do mercado de opções, além das possibilidades de diferentes abordagens para as premissas em modelos de apreçamento de opções, pode-se afirmar que são virtualmente inesgotáveis as alternativas possíveis para o desenvolvimento de simulações como esta. Havendo recursos computacionais e conhecimentos de tecnologia da informação compatíveis com a complexidade do tema, o limite para as alternativas é dado apenas pela criatividade daqueles que desejarem realizá-las.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGEN, Jeff. **Day Trading Options: Profiting from price distortions in very brief time frames**. Pearson Education, 2010.

BUCHANAN, J. Robert. **The greeks: Derivatives of Option Prices. An Undergraduate Introduction to Financial Mathematics**. World Scientific Publishing Company, 2010.

BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. The Journal of Political Economy. Chicago, v. 81, n. 3, pp. 637-654, mai./jun. 1973.

BLOMVALL, Jörgen, LINDBERG, Per Olov. **Back-testing the performance of na actively managed option portfólio at the Swedish Stock Market, 1990-1999**. Journal of Economic Dynamics & Control, 27 (2003), pp 1099-1112.

CARR, Peter; WU, Liuren. **Static Hedging of Standard Options**. Journal of Financial Econometrics, Vol. 12, No 1 (2014) pp. 3-46.

COSTA, César Lauro de. **Opções: Operando a volatilidade**. BM&F, 1998.

Derivatives Markets Survey, WFE/IOMA, 2012.

HULL, John. **Introduction to Futures and Option Markets**. Prentice Hall, 1991.

MARKOWITZ, Harry. **Portfolio Selection**. The Journal of Finance, Vol 7, No 1 (March 1952), pp 77-91.

NETO, Lauro de Araújo Silva. **Opções: Do tradicional ao exótico**. BM&F, 1994.

KAROUÏ, Nicole El; JEANBLANC-PICQUÉ, Monique; SHREVE, Steven Eugene. **Robustness of the Black and Scholes Formula**. Mathematical Finance, Vol. 8, No. 2 (April 1998), 93-126.

SOUZA, Luiz Alvares Rezende de. **Estratégias para aplicação no mercado brasileiro de opções**. FEA 1996.

VIEIRA, Douglas M. **Les grandes complications: A arte de modelar o mercado de opções**. 2011. 72f. Monografia. Bacharelado em Administração – Faculdade de Administração, Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

ANEXO A – Algoritmos em VBA utilizados⁶⁸

Para calcular a volatilidade implícita:

Function BS_IV(x, t, k, r, c)

dc = 999

i = 0

vpk = k * Exp(-r * t)

iv = 0.02

While (Abs(dc) > 0.00000000000001) And (i < 200)

d1 = Log(x / vpk) / iv / Sqr(t) + iv / Sqr(t) / 2

Cx = x * Application.NormSDist(d1) - vpk * Application.NormSDist(d1 - iv * Sqr(t))

dc = Cx - c

iv = iv - dc / x / Sqr(t) / Application.NormDist(d1, 0, 1, False)

i = i + 1

Wend

BS_IV = iv

End Function

Para calcular os preços teóricos:

Function BS_FORMULA(x, t, k, r, s)

vpk = k * Exp(-r * t)

d1 = Log(x / vpk) / s / Sqr(t) + s / Sqr(t) / 2

BS_FORMULA = Abs(x * Application.NormSDist(d1) - vpk * Application.NormSDist(d1 - s * Sqr(t)))

End Function

⁶⁸As fórmulas, exceto a utilizada para organizar as séries históricas, foram extraídas de: VIEIRA, Douglas M. **Les Grandes Complications**: A arte de modelar o mercado de opções. ESAG, 2011.

Para organizar as séries históricas:

Sub organizar_cot()

Dim dia As Boolean

Dim linhafinal As Integer

Dim momento As Boolean

linhafinal = Cells(Rows.Count, 4).End(xlUp).Row

For i = linhafinal To 2 Step -1

For j = linhafinal To 2 Step -1

If CBool(Range("E" & i) = Range("B" & j)) And CBool(CBool(Range("F" & i) = Range("C" & j))) Then

Range("E" & i & ":" & "G" & i).Cut Destination:=Range("E" & j)

Exit For

End If

Next j

Next i

End Sub

APÊNDICE A – Resultados das Simulações.

1- Resultados da simulação para o par PETRJ19 X PETRJ20

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	94
Acertos	45
Índice de acerto	47,87%
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	92
Acertos	67
Índice de acerto	72,83%
TOTAL	
Quantidade	186
Acertos	112
Índice de acerto	60,22%
Resultado médio	R\$ 26,90
Soma dos resultados	R\$ 5.003,57
Índice de acerto	60,22%

2- Resultados da simulação para o par PETRK16 X PETRK17

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	33
Acertos	27
Índice de acerto	81,82%
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	35
Acertos	12
Índice de acerto	34,29%
TOTAL	
Quantidade	68
Acertos	39
Índice de acerto	57,35%
Resultado médio	R\$ 22,88
Soma dos resultados	R\$ 1.555,85
Índice de acerto	57,35%

3- Resultados da simulação para o par PETRK17 X PETRK18

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
TOTAL	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
Resultado médio	-
Soma dos resultados	-
Índice de acerto	-

4- Resultados da simulação para o par PETRK18 X PETRK19

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	109
Acertos	22
Índice de acerto	20,18%
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	93
Acertos	75
Índice de acerto	80,65%
TOTAL	
Quantidade	202
Acertos	97
Índice de acerto	48,02%
Resultado médio	-R\$ 12,58
Soma dos resultados	-R\$ 2.541,00
Índice de acerto	48,02%

5- Resultados da simulação para o par PETRK19 X PETRK20

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
TOTAL	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
Resultado médio	-
Soma dos resultados	-
Índice de acerto	-

6- Resultados da simulação para o par PETRK20 X PETRK21

TRAVAS DE ALTA	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
TRAVAS DE BAIXA	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
TOTAL	
Quantidade	0
Acertos	0
Índice de acerto	-
Resultado médio	-
Soma dos resultados	-
Índice de acerto	-