

3. Metodologia

Este capítulo é dividido em duas seções, a primeira seção descreve a base de dados utilizada, identificando a origem das fontes de informação, apresentando de forma detalhada as informações utilizadas assim como o tratamento e filtros aplicados sobre a base de dados. A segunda seção apresenta a metodologia utilizada para construção e verificação das propriedades do cone de volatilidade, assim como os testes de verificação de eficiência de mercado.

3.1. Base de Dados

A base de dados utilizada no estudo é composta de duas categorias. A primeira categoria representa histórico de preço das ações, utilizado tanto na determinação da volatilidade histórica do ativo objeto para os diferentes horizontes de tempo e conseqüente construção do cone de volatilidade sendo também um dos parâmetros necessários para o cálculo da volatilidade implícita. A segunda categoria refere-se ao histórico do preço das opções e o histórico de taxa de juros livre de risco, parâmetros fundamentais para o cálculo da volatilidade implícita através do cálculo inverso pelo modelo de Black e Scholes (1973).

O levantamento da base de dados dos preços dos ativos foi realizado através do sistema Economática. Este sistema foi escolhido porque além de armazenar informações de diversas ações em períodos de tempo bastante longos, também possibilita a extração do histórico de preços das ações já ajustados aos pagamentos de proventos. Dessa forma o cálculo das variações nos preços dos ativos pode ser feita de forma direta sem a necessidade de ajustes adicionais.

Para o cálculo do cone de volatilidade foram selecionadas ações da Vale (VALE5) e Petrobras (PETR4) por serem únicas as ações objeto a apresentarem liquidez para séries para diversos prazos de vencimento, diferentes valores de exercício e negociadas diariamente. A série obtida é composta dos valores diários de fechamento, abertura, máximo e mínimo dos ativos desde janeiro 2005 até julho de 2009. O período selecionado contempla dois momentos bastante distintos no mercado financeiro. O intervalo de janeiro de 2005 até setembro de 2008 reflete um período de estabilidade e grande expectativa de crescimento econômico, já o período seguinte de outubro de 2008 até julho de 2009 se caracteriza por de forte crise do sistema bancário mundial.

A categoria de dados de preços das opções foi obtida através do site da bolsa de valores de São Paulo (www.bovespa.com.br) e contempla o mesmo período da série acima de janeiro de 2005 até julho de 2009 e os valores das taxas de juros obtidos a partir da série DI-PRE do site da bolsa de mercadorias e futuros (www.bmf.com.br), esta utilizada como um *proxy* da taxa de juros livre de risco no cálculo das opções. A base utilizada para o cálculo da volatilidade implícita é composta das seguintes informações:

- Data de pregão
- Código do ativo
- Preço de fechamento da opção
- Preço de fechamento da ação-objeto
- Preço de exercício
- Data de exercício
- Dias úteis até o exercício
- Taxa de juros (DI – 30)

Com o objetivo de minimizar o viés associado à ausência de sincronia entre os fechamentos no mercado de opções e no mercado de ações, somente

opções com pelo menos 100 negociações foram consideradas para as análises. Outro filtro aplicado à base de dados foi o índice de “*moneyness*”, onde somente os contratos perto do dinheiro foram selecionados. Por contratos perto de dinheiro entendem-se aqueles em que a razão entre o valor do ativo-objeto e o preço de exercício está entre 0,95 e 1,05 independente do prazo até exercício.

Em relação ao prazo até o exercício são considerados duas séries, uma para opções de curto prazo em que a duração até o exercício é menor ou igual a um mês e outra de opções de médio prazo onde a duração até o exercício está entre um e dois meses. Na série de curto prazo são considerados somente os dias de negociação dos contratos em que o prazo até o exercício da opção é maior que 10 dias.

O cone de volatilidade caracteriza a estrutura da volatilidade histórica no tempo através das estatísticas descritivas da distribuição da volatilidade diante dos horizontes de tempo até o exercício da opção. Diante disso como apresentado por Burghardt e Lane (1990) a comparação desta estrutura de volatilidade no tempo com a volatilidade implícita pode trazer informações sobre os preços das opções que auxiliem a tomada de decisão de compra e venda.

Uma das principais premissas por trás desta ferramenta é a de que a volatilidade varia ao longo do tempo e que, além disso, segue um processo estocástico de reversão à média. Dessa forma pode ser feita uma previsão do movimento da volatilidade considerando a posição da mesma em relação ao seu histórico para um mesmo período de tempo até o exercício.

Diante disso a metodologia utilizada neste estudo procura abordar o tema através de três etapas. Na primeira etapa foi realizado um teste para validação da premissa da volatilidade implícita seguir um processo estocástico de reversão à

média. Para realização deste teste foi utilizado a mesma técnica da raiz unitária apresentada por Dixit, *et al.* (2007). A segunda etapa apresenta o tratamento de dados, as fórmulas e estatísticas utilizadas na construção da estrutura do cone de volatilidade seguindo a mesma metodologia empregada por Burghardt e Lane (1990). Na terceira etapa foram realizados os testes de avaliação de eficiência e robustez da ferramenta.

3.2. Processo de reversão à média

Para a realização do teste de reversão à média foram utilizadas duas séries de dados, uma com a volatilidade implícita para opções com prazo de vencimento até 30 dias e outra com opções de prazo de vencimento entre 30 e 60 dias. O objetivo desta segmentação foi avaliar o comportamento da volatilidade implícita para diferentes prazos de vencimento uma vez que diversos estudos indicam a diferença de comportamento da volatilidade ao longo do tempo. (STEIN, 1994; XU; TAYLOR, 2001; DIXIT, *et al.*, 2007).

O cálculo da volatilidade implícita foi realizado utilizando o método inverso do modelo de Black e Scholes. O objetivo foi estimar a volatilidade que no modelo de Black e Scholes apresentasse um preço justo para a opção igual ao valor do mercado. Para isso foi desenvolvida uma macro no software excel com algoritmo que buscasse igualar o preço calculado pelo modelo com o mercado variando o valor da volatilidade. De acordo com a metodologia de Becker (1981), a melhor forma de calcular a volatilidade implícita é a partir da opção com maior vega, ou seja, a opção mais no dinheiro. Diante disso utilizamos a opção com o menor índice de *moneyness* absoluto para o cálculo da volatilidade.

No teste da raiz unitária procurou-se verificar se a série de volatilidade contém ou não a raiz unitária, ou seja, estacionária ou não respectivamente. O ponto inicial para o teste da raiz unitária é o processo dado pela equação abaixo:

$$Y_t = aY_{t-1} + u_t \quad (11)$$

Onde o valor de a varia entre -1 e 1, e u_t é o termo do erro estocástico. O erro é chamado de estocástico quando apresenta uma média igual à zero, uma variância constante e é possui uma série não correlacionada.

Na equação (1), se o valor de $a=1$, esse é o caso da raiz unitária, a série Y_t se torna uma série não estacionária. Este resultado é atingido através da regressão de Y_t pela sua defasagem Y_{t-1} e testando se o valor estimado de a é estatisticamente igual à 1 ou não. Na prática, a equação (11) não é utilizada diretamente, mas é manipulada pela subtração de Y_{t-1} nos dois lados da equação.

$$Y_t - Y_{t-1} = aY_{t-1} - Y_{t-1} + u_t = (a-1)Y_{t-1} + u_t \quad (12)$$

Alternativamente a equação (2) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t \quad (13)$$

Onde $\delta = (a-1)$ e Δ é um operador de diferença. O teste de hipótese nula passa a ser se $\delta=0$ e a hipótese alternativa $\delta < 0$. Dessa forma, testa-se indiretamente se $a=1$ ou não, em outras palavras se a série é estacionária ou não.

O teste estatístico selecionado para avaliar a hipótese nula foi o teste Dickey-Fuller (ADF) e sua aplicação realizada com o auxílio do software E-views.

3.3. Cone de Volatilidade

Na etapa de construção do cone de volatilidade, a primeira atividade realizada foi a segmentação da base de dados em duas categorias. A primeira categoria utilizada na construção do cone de volatilidade, enquanto a segunda foi utilizada nos testes de eficiência da ferramenta. Com isso nesta etapa foi utilizada somente a primeira categoria de dados que compreende a série de dados dos preços das ações de janeiro de 2005 até janeiro de 2007.

Uma vez que a maioria das opções no mercado brasileiro apresenta um prazo até o exercício de no máximo 90 dias, as faixas de tempo selecionadas foram de 15 dias, 30 dias, 45 dias, 60 dias, 75 dias e 90 dias.

Para a estimativa da volatilidade histórica foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (X_i - \bar{X})^2} * \sqrt{252} \quad (14)$$

$$X_{i+1} = \ln(S_{i+1} / S_i) \quad (15)$$

Onde S é o preço de fechamento da ação, N é o número de negociações diárias para a faixa de tempo selecionada.

O incremento utilizado para defasar o intervalo de dados no cálculo da volatilidade foi de 15 dias. Com isso foram obtidos 33 estimadores de volatilidade para a faixa de 15 dias com redução de um estimador para cada faixa até a faixa de 90 onde se obteve 26 estimadores.

Os estimadores de cada faixa representam os dados que compõem a distribuição para cada faixa. Através da representação gráfica das estatísticas das distribuições se chega ao cone de volatilidade.

No entanto, a série de dados utilizada na construção do cone de volatilidade é uma série composta de dados sobrepostos, ou seja, dados não independentes entre si. Dessa forma os parâmetros de volatilidade calculados a partir da mesma são estimadores com viés. Neste caso a principal razão para utilização de dados sobrepostos se deve à necessidade de utilizar a quantidade máxima de informação, uma vez que o horizonte de dados já se apresenta reduzido pela segmentação da base para construção do cone e teste de hipótese de eficiência da ferramenta.

Com isso, para corrigir o problema da utilização de dados sobrepostos e eliminar o viés dos estimadores de volatilidade, utilizou-se o fator de correção de Hodges e Tompkins (2002) apresentado anteriormente na equação (10).

3.4. Teste de eficiência

Esta última etapa tem como objetivo responder algumas questões relativas à utilização do cone de volatilidade como uma ferramenta capaz de identificar oportunidades de compra e venda de volatilidade no mercado de opções. Diante do conceito de eficiência de mercado, uma questão natural é se o posicionamento da volatilidade implícita em relação ao cone de volatilidade pode trazer informações úteis se a opção está com um preço alto ou baixo.

Em um mercado eficiente a volatilidade implícita contém todas as informações relevantes sobre o curso futuro da volatilidade e deve ser um estimador sem viés da subsequente volatilidade realizada. Dessa forma,

informações sobre o posicionamento da volatilidade implícita em relação à distribuição da volatilidade histórica do cone não deve gerar nenhuma informação sobre a distribuição da volatilidade realizada subsequente.

Para testar a hipótese de eficiência de mercado foi utilizada a segunda categoria de dados das ações da Vale e Petrobras citada anteriormente referente ao período de janeiro de 2007 até junho de 2009. No entanto, por se tratar de um período marcado por muita instabilidade no cenário econômico mundial a utilização discriminada da série poderia gerar resultados distorcidos. A fim de evitar a distorção nas análises, a base de dados foi novamente segmentada em dois períodos, o primeiro composto de dados de janeiro de 2007 até junho de 2008 e o segundo de junho de 2008 até junho de 2009. Dessa forma pode-se fazer um teste de stress da ferramenta em dois cenários com características muito distintas: um período de aceleração da economia caracterizado por evolução do mercado de ações sem muita instabilidade e outro período de intensa instabilidade vivido durante a crise mundial.

Assim como em Burhardt e Lane (1990) a metodologia empregada procurou primeiro identificar os dias em que a volatilidade implícita foi negociada com valores acima da média mais duas vezes o desvio padrão ou abaixo da média mais duas vezes o desvio padrão. Depois para opções com prazo de vencimento de até 30 dias e opções com o prazo de vencimento entre 30 e 60 dias foi calculada a volatilidade realizada nos dias restantes até o vencimento de cada opção e então subtraída da volatilidade implícita da opção.

Este procedimento simula o resultado obtido com a realização de uma operação de compra de volatilidade, compra de uma opção e posição de delta-hedge até o vencimento nos casos em que volatilidade implícita esteja abaixo dos

parâmetros de referência acima indicados, ou venda de volatilidade com a venda de uma opção e posição de delta-hedge nos casos em que a volatilidade se apresentar acima do parâmetro de referência.

Com o objetivo de se avaliar a confiança estatística dos resultados obtidos foi aplicado o teste para a seguinte hipótese:

$$H_0 : \mu \leq 0$$

$$H_1 : \mu > 0$$

Onde μ é a média das diferenças entre a volatilidade implícita e a volatilidade realizada.

Ao rejeitar a hipótese nula se rejeita a hipótese de que o mercado é eficiente e de que a volatilidade implícita contém todas as informações do mercado. Portanto, a comparação da volatilidade implícita com a volatilidade histórica calculada, para um mesmo período até o vencimento, pode trazer informações que auxiliam a decisão de compra e venda de volatilidade no mercado de opções.

A análise da série de dados vai além do objetivo principal deste trabalho, que é a avaliação da capacidade do cone de volatilidade em trazer informações adicionais que auxiliem os participantes do mercado na decisão de compra e venda de opções, procurando avaliar questões secundárias, mas de grande importância como o desempenho do cone para opções com diferentes preços de exercício classificadas como opções dentro do dinheiro, no dinheiro e fora do dinheiro e opções de curto e médio prazo.

Na análise do cone de volatilidade para opções com diferentes preços de exercício aplicou-se sobre a base de dados filtrada pelo índice de *moneyness* entre 0,95 e 1,05 a seguinte classificação:

- Opções fora do dinheiro: opções com índice de *moneyness* menor que 0,975
- Opções no dinheiro: opções com índice de *moneyness* entre 0,975 e 1,025
- Opções dentro do dinheiro: opções com índice de *moneyness* maiores que 1,025.

A partir desta classificação, procurou-se avaliar a diferença média entre os tipos de opção para os eventos em que a volatilidade implícita esteve acima do cone de volatilidade e os eventos em que a mesma esteve abaixo do limite inferior do cone. Para avaliar a igualdade entre as médias utilizou-se o método de ANOVA avaliando se existe igualdade estatística entre as médias através do teste de Fisher.

Para a comparação de desempenho entre as opções de curto e médio dividiu-se a base de dados em duas sendo a primeira composta pelos valores das opções em que os dias até o exercício são maiores que 22 dias úteis e menores que 44 dias úteis e a segunda série composta de opções com dias de exercício de até 22 dias úteis. Essa segmentação buscou eliminar possíveis distorções causadas por falta de liquidez para opções acima de 44 dias e a restrição em 22 dias úteis procura identificar um momento em que existe uma outra opção com exercício inferior e com o mesmo preço de exercício.

Com isso foram realizadas simulações para cada uma dessas novas bases e coletados os resultados para eventos de volatilidade acima do topo do cone e abaixo do vale do cone de volatilidade. A comparação entre o desempenho desses dois tipos de opção foi também foi feito através do método de ANOVA com o teste F.

As análises propostas neste trabalho buscam, portanto, apresentar o cone de volatilidade e suas características para opções da Vale e Petrobras, avaliar o

desempenho de utilização do cone sobre a série histórica das opções e entender se existe alguma distinção devido às características relacionadas ao preço de exercício e tempo até o exercício das opções. Além disso, procurou-se também avaliar o comportamento do cone de volatilidade diante de uma série histórica marcado por elementos de extrema incerteza do mercado na crise de 2008.