

3

Metodologia da pesquisa e base de dados

Este capítulo também foi dividido em seis seções. A primeira seção descreve a base de dados que foi utilizada, como as informações foram tratadas e quais os filtros utilizados sobre estas mesmas bases. A segunda seção aborda o processo de reversão à média, as três seções subsequentes abordam, respectivamente, as construções dos cones de assimetria, dos cones de curtose e dos cones de volatilidade. O capítulo se encerra com os testes buscando obter a eficiência dos modelos utilizados.

3.1.

Base de Dados

As opções da Vale e da Petrobras foram escolhidas, pois são as que apresentam maior liquidez dentro do mercado de opções e, além disso, escolheram-se as opções de compra de ações destas empresas, pois no mercado brasileiro as opções de venda possuem baixíssima liquidez, mesmo no caso destas duas *blue chips*.

Para a construção dos cones foram necessários os preços históricos das ações preferenciais da Petrobras e da Vale. A construção dos cones abrange o período de dois anos, como o estudo feito por Burghardt e Lane (1990), porém como o ano de 2008 foi um ano de altíssima volatilidade devido à crise financeira mundial, a análise dos cones de volatilidade para a realização de operações ficaria muito comprometida, conforme estudo feito por Cerqueira (2010).

No estudo serão analisadas operações com opções no ano de 2010, e como mostram Burghardt e Lane (1990), o cone deve ser construído por dados anteriores ao período das opções a serem analisadas. Logo, os cones teriam que ser traçados com dados históricos de 2008 e 2009, porém este estudo mostrará que a volatilidade de tal cone que em seu topo atinge mais de 100%, o que tornaria muito discrepante a análise para o ano de 2010. Portanto, visando à construção de

cones com dois anos contínuos, o período de 2005 e 2006 foi mais apropriado como previsor de volatilidade para as operações com opções realizadas em 2010, conforme mostra a tabela 1. Estes dois anos apresentaram volatilidades históricas muito mais parecidas com a do ano a ser estudado.

Tabela 1- Taxas de volatilidade histórica anual e correlação com IBOVESPA 2005-2010

VOLATILIDADE	VALE5	PETR4	IBOV
2005	32,62%	29,19%	24,87
2006	30,48%	29,54%	25,80%
2007	38,77%	36,14%	27,43%
2008	63,47%	65,44%	52,28%
2009	40,91%	32,88%	30,63%
2010	28,85%	28,57%	20,35%

CORRELAÇÃO/IBOV			
2005	0,7143	0,7033	1
2006	0,6683	0,7042	1
2007	0,8702	0,7455	1
2008	0,9042	0,8528	1
2009	0,8937	0,8909	1
2010	0,8259	0,6814	1

Fonte: Elaborado pelo autor através dos dados capturados no sistema Economática

A análise da tabela 1 mostra que o ano de 2008 realmente apresentou uma volatilidade muito acima do normal, e como estes ativos tem uma boa correlação com o índice IBOVESPA, que foi altamente prejudicado pela crise financeira mundial, as volatilidades de tais ativos também foram muito influenciadas por este grande fato ocorrido a nível mundial. Além disso, o ano de 2010, que terá suas opções avaliadas, apresentou volatilidade mais parecida com os anos de 2005 e 2006, tanto para Petrobras quanto para Vale.

A segunda parte dos dados refere-se ao preço de fechamento diário das opções de compra da Petrobrás e da Vale para todo o ano de 2010. Além disso, para o cálculo do preço justo por Black e Scholes (1973) e Corrado e Su (1996), foram necessários a taxa de juros livre de risco e o preço do ativo objeto para todo o ano de 2010. Preços estes que serviram para que fossem calculadas a volatilidade, a assimetria e a curtose, que são outros parâmetros necessários para os dois modelos de precificação e para que fosse calculada a volatilidade implícita dos mesmos através da indução retroativa dos mesmos.

No que tange ao levantamento da base de dados dos preços dos ativos, o sistema Economática foi utilizado. Tal escolha se fez necessária, pois o mesmo armazena uma grande quantidade de períodos com tais preços e, principalmente,

armazena os mesmos já ajustados aos pagamentos de juros e dividendos. Por isso, o cálculo das variações nos preços dos ativos torna-se direta, sem a necessidade de correções adicionais.

As ações preferenciais da Petrobrás (PETR4) e da Vale (VALE5) foram escolhidas por apresentarem opções de compra com bastante liquidez para vários prazos de vencimento e preços de exercícios. Do sistema Economática foi extraído o período de janeiro de 2005 até dezembro de 2010, com os preços diários de fechamento, abertura, mínimo e máximo.

Contudo, como explicado no início deste capítulo, os anos de 2008 e 2009, devido à volatilidade gigantesca causada pela crise financeira mundial, só foram utilizados para mostrar como a amplitude dos cones ficaria muito maior devido ao aumento dos limites superiores.

Já os dados de preços das opções de compra das ações preferenciais da Petrobrás (PETR4) e da Vale (VALE5), os mesmos foram obtidos no site da bolsa de valores de São Paulo, acessado através do endereço www.bovespa.com.br. Tais dados abrangem os dados diários destas opções com data de exercício no ano de 2010, porém, buscando reduzir o viés embutido nos fechamentos de preços de algumas opções, resultante da possível ausência de liquidez destas, apenas aquelas opções com no mínimo 100 negociações foram utilizadas para os cálculos deste estudo. Outra restrição aplicada à base de dados foi o conceito de *moneyness*, ou seja, a razão entre o preço à vista do ativo subjacente e o preço de exercício. Neste trabalho, foi utilizado um intervalo de valor para este parâmetro variando entre 0,95 e 1,05. A escolha deste intervalo consiste em avaliar somente aquelas opções mais perto do dinheiro, porém sempre englobando para cada data de vencimento uma série de opções *out-of-the-money*, uma *at-the-money* e uma *in-the-money*.

Burghardt e Lane (1990) e Cerqueira (2010) segmentam as séries de opções em dois tipos: opções de curto prazo e opções de médio prazo. Neste trabalho as opções de curto prazo serão aquelas com prazo até o vencimento menor ou igual a um mês e maior que 10 dias, e as opções de médio prazo serão aquelas com prazo até o vencimento entre um mês e três meses. Todos os prazos foram utilizados em dias úteis para adaptação do modelo utilizado pelos autores ao mercado brasileiro.

Assim como nos trabalhos de Cerqueira (2010) e de Teixeira (2011), este estudo utilizará os valores das taxas de juros obtidos a partir da série DI-PRE do site da bolsa de mercadorias e futuros acessados através do endereço

www.bmf.com.br. Serão utilizados como uma proxy da taxa de juros livre de risco no cálculo do preço justo das opções de compra, tanto pelo modelo de Black e Scholes (1973) quanto pelo modelo de Corrado e Su (1996).

Na pesquisa serão utilizadas as seguintes informações para a elaboração da volatilidade implícita, dos cones de assimetria, dos cones de curtose e dos cones de volatilidade:

- 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)

3.2. Processo de reversão à média

Dixit et al (2007) explicam o método da raiz unitária para avaliar se os dados que estudavam em seu trabalho seguiam um processo estocástico de reversão à média. Neste trabalho também será utilizado este método com as volatilidades implícitas calculadas pelo método inverso de Corrado-Su (1996) das opções de curto e de médio prazo, com o intuito de verificar o comportamento da volatilidade implícita nos diferentes prazos até o vencimento, tentando verificar se realmente há diferença nas mesmas ao longo do tempo, conforme mostram Xu e Taylor (2001).

Nesta primeira etapa, o diagnóstico de um processo de reversão à média se torna de suma importância para o trabalho, pois mostra que a utilização dos cones de volatilidade pode realmente ser interessante, tendo em vista que a volatilidade implícita tende a algo em torno da média.

Conforme mostram Dixit, et al (2007), com o teste da raiz unitária procura-se verificar se a série de volatilidade implícita contém ou não a raiz unitária para mostrar se esta série é estacionária em caso positivo ou segue um Movimento Geométrico Browniano (MGB) em caso negativo. Em caso de

rejeição da hipótese nula de que o movimento segue a um MGB, a série tenderia a um processo de reversão à média. A equação fundamental para o teste da raiz unitária é a seguinte:

$$Y_t = aY_{t-1} + u_t \quad (19)$$

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 a zero, uma variância constante e possui uma série não correlacionada.

Na equação (19), caso o valor de a seja 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. Em seguida, a equação (19) é ajustada pela subtração de Y_{t-1} nos dois lados da equação, para facilitar a simplificação da mesma posteriormente, da seguinte forma:

$$Y_t - Y_{t-1} = aY_{t-1} - Y_{t-1} + u_t = (a-1)Y_{t-1} + u_t \quad (20)$$

Esta equação (20) que pode ser reescrita, conforme abaixo:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t \quad (21)$$

Onde $\delta = (a-1)$ e Δ é a variação a cada momento. A hipótese nula H_0 passa a ser $\delta = 0$ e a hipótese alternativa H_a $\delta < 0$. Portanto, testa-se indiretamente se $a=1$ ou não, ou seja se a série é ou não estacionária. Portanto, conforme Black (2010) se a estatística de teste t for menor que um valor crítico negativo ou maior que um valor crítico positivo para os níveis de significância de 1%, 5% ou 10%, o teste rejeita a hipótese nula da raiz unitária.

Por exemplo, ao se testar o comportamento dos ativos-objetos das séries de opções, o teste falha em rejeitar a hipótese nula, pois as ações preferenciais da Vale e da Petrobrás tendem a um Movimento Geométrico Browniano, a série é

não estacionária, caso a hipótese nula fosse rejeitada, estes ativos tenderiam a um processo de reversão à média.

Assim como no trabalho de Cerqueira (2010), o teste estatístico selecionado para avaliar a hipótese nula foi um teste do tipo Augmented Dickey-Fuller e foi utilizada a ferramenta de teste de raiz unitária do software E-views versão 5.

3.3 Cones de assimetria

Através dos trabalhos sobre os cones de volatilidade desenvolvidos por Burghardt e Lane (1990) e Cerqueira (2010) e da análise da estrutura a termo de volatilidade feita por Sinclair (2008), onde o autor ainda sugeria que cones de assimetria e curtose poderiam ser traçados da mesma forma, surgiu a idéia de estudar a existência destes cones no mercado brasileiro.

O modelo desenvolvido por Corrado e Su (1996) inovou pela expansão do modelo de Black e Scholes com a inserção destas duas medidas estatísticas, a fim de que as opções fossem melhor precificadas.

Sinclair (2008) mostra que a assimetria é o terceiro momento centrado na média e no desvio padrão, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\mu_3 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3} \quad (22)$$

Segundo Black (2010), a assimetria informa se uma distribuição de probabilidade tende a apresentar seus valores mais baixos ou seus valores mais altos com uma maior distância da média. Caso a assimetria seja positiva, a cauda da distribuição tenderá à direita; sendo ela negativa, a cauda da distribuição estará à esquerda; no caso desta medida ser zero, a distribuição será simétrica em relação a sua média. Portanto, a distribuição normal de probabilidade utilizada no modelo de Black e Scholes (1973) terá coeficiente de assimetria igual a zero, exatamente como mostram Corrado e Su (1996).

Os cones de assimetria serão traçados com intervalos de 22, 44,66 e 88 dias úteis para o vencimento da opção, utilizando-se os dados históricos do ativo-

objeto, pois o mercado acionário brasileiro trabalha com dias úteis. Além disso, os cones de assimetria deverão ter sua amplitude de curto prazo maior que a de longo prazo, conforme Sinclair (2008).

Para cada faixa de tempo estudada (22, 44, 66 ou 88 dias úteis), os cones de assimetria serão traçados com seus dados de máxima, mínima, percentil 90%, percentil 10% e mediana.

Estes cones de assimetria serão de suma importância para que o trabalho possa optar pelo modelo de Corrado e Su (1996), pois com um cone de assimetria de grande amplitude para os prazos menores, pode-se prever se as volatilidades implícitas obtidas por este modelo sobrepostas ao cone de volatilidade, seja mais eficiente que as obtidas pelo modelo de Black e Scholes (1973).

3.4 Cones de curtose

Com o estudo desenvolvido por Corrado e Su (1996), o coeficiente de curtose diferente da curtose padrão para uma distribuição normal de probabilidade, que tem seu coeficiente igual a três, começou a ganhar ainda mais importância para os participantes do mercado de opções.

Assim como o coeficiente de assimetria, o coeficiente de curtose é inserido no modelo de Black e Scholes (1973), com a expansão do mesmo, feita pelos autores acima mencionados.

Javaheri (2005) e Sinclair (2008) definem esta medida estatística como o quarto momento centrado na média e no desvio padrão e possui a seguinte fórmula:

$$\mu_4 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4} \quad (23)$$

Para Black (2010) a curtose mostra se uma distribuição de probabilidade é achatada ou não. Uma distribuição uniforme que apresente distribuição de probabilidade constante apresentará uma curtose muito baixa e uma distribuição que apresente um pico de probabilidade no meio e uma queda brusca de probabilidade apresentará uma curtose elevada.

A distribuição de probabilidade normal padrão apresenta um coeficiente de assimetria igual a três. Na verdade, o formato de “sino” da mesma já faz passar esta ideia, a maioria dos autores de finanças, tais como Corrado e Su (1996) e Javaheri (2005) denominam excesso de curtose as medidas para esta dispersão, pois há a comparação com a normal, portanto para achar o real coeficiente de curtose deve-se somar três ao valor encontrado. O próprio software Microsoft Excel nos seus cálculos mostra o excesso de curtose.

Marins (2009) explica que, por convenção, as distribuições de probabilidades achatadas, ou seja, aquelas com coeficiente de curtose menor que 3 são chamadas de platicúrticas. Já as distribuições de probabilidade que possuem coeficiente de curtose maior que 3 são chamadas de leptocúrticas e as que apresentam este coeficiente igual a 3 são chamadas de mesocúrticas.

Porém, o autor deixa claro que o fato de uma distribuição de probabilidade ser achatada (platicúrtica) não significa que ela terá uma variância elevada, assim como uma distribuição de probabilidade que tem curtose elevada (leptocúrticas), não necessariamente terão variância baixa. Convém mencionar que a distribuição normal de probabilidade possui coeficiente de curtose igual a 3, para qualquer valor de variância.

Assim como os cones de assimetria, os cones de curtose serão traçados com intervalos de 22, 44,66 e 88 dias úteis para o vencimento da opção, utilizando-se os dados históricos do ativo-objeto. E da mesma forma deverão possuir uma amplitude maior quanto menor for o prazo de sua estrutura a termo.

Para cada faixa de tempo estudada, os cones de assimetria serão traçados com seus dados de máxima, mínima, percentil 90%, percentil 10% e mediana.

3.5 Cones de volatilidade

Diferentemente dos cones de assimetria e curtose, os cones de volatilidade serão utilizados para fins de análise de eficiência da ferramenta, tendo em vista que a volatilidade implícita é uma variável que se pode obter sem a necessidade de estimativas fora da amostra de dados como ocorre no caso da assimetria e curtose implícitas, fato este que pode ser verificado em Corrado e Su (1996).

Portanto, a base de dados para a construção do cone de volatilidade abrangerá o período de janeiro de 2005 até dezembro de 2009 e será composta com o preço de fechamento das ações preferenciais da Petrobras e da Vale.

No que tange às faixas de valores selecionadas, como as opções de compra deste ativo que apresentam a liquidez desejada e o número mínimo de negociações não superam a faixa de 66 dias úteis. Como será feita uma análise de eficiência da ferramenta, o cone de eficiência terá quatro faixas de tempo a mais que os cones de assimetria e curtose. O cone de volatilidade terá faixas de 11, 22, 33, 44, 55 e 66, 77 e 88 dias úteis.

Para cada faixa de valor serão calculados os valores máximos, mínimos, percentil 90%, percentil 10% e a mediana. Com estes valores serão traçados os cones de volatilidade para Petrobras e Vale.

Segundo Figueiredo (2010) as fórmulas utilizadas para o cálculo da volatilidade histórica são as seguintes:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (X_i - \bar{X})^2} * \sqrt{252} \quad (24)$$

$$X_{i+1} = \ln(S_{i+1} / S_i) \quad (25)$$

3.5 Teste de eficiência

Para a realização dos testes de eficiência, serão utilizadas as cotações de fechamento diário das opções de compra da Petrobras e da Vale durante todo o ano de 2010. Tais cotações servirão para que seja calculada a volatilidade implícita pelos modelos de Corrado e Su (1996) e Black e Scholes (1973).

Como foi explicado no segundo capítulo deste trabalho, a volatilidade implícita no ponto de vista de um mercado eficiente pode trazer informações mais precisas sobre esta variável do que a volatilidade histórica, tendo em vista que em um mercado eficiente e moderno os agentes possuem informações em tempo real do que está acontecendo na economia. Tais informações são de suma importância para que se descubra o comportamento futuro da volatilidade, o que acaba se

tornando um diferencial em um mercado tão competitivo como o de opções de ações.

Segundo Burghardt e Lane (1990), a volatilidade implícita sobreposta aos cones de volatilidade traçados com os dados da volatilidade histórica pode trazer informações adicionais a respeito do comportamento futuro desta variável tão importante para os modelos de precificação de opções.

Neste trabalho também foi calculada a volatilidade realizada pelo ativo-objeto nos dias que restavam para o vencimento de cada opção. Foram analisadas para cada vencimento de A (janeiro) até L (dezembro) três séries de opções com diferentes preços de exercício, a fim de que fossem escolhidas uma série *out-of-the-money*, uma *at-the-money* e uma *in-the-money*, tomando-se o devido cuidado, pois devido à oscilação nos preços do ativo objeto, uma opção com o mesmo preço de exercício pode migrar entre estas três classificações. No que tange ao período de análise de cada opção foi observada diariamente durante um período de até 66 dias úteis de prazo até o seu vencimento.

Ainda foram calculados diariamente para os dados acima o preço justo obtido pelo modelo de Black e Scholes (1973), o preço justo calculado pelo modelo de Corrado e Su (1996) e as volatilidades implícitas obtidas pelos dois modelos.

Após estes cálculos, os dados de volatilidade implícita das opções foram separadas em dois blocos: um com prazo até o vencimento de 32 dias úteis e outro com prazo entre 33 e 66 dias úteis. Após esta separação, estes dados foram sobrepostos aos cones de volatilidade toda vez que a volatilidade implícita superasse aquela volatilidade histórica que estivesse no percentil 90% do cone de volatilidade, era efetuada uma operação de venda de volatilidade, com a venda de uma opção e posição de delta-hedge e todas as vezes que a volatilidade implícita estivesse abaixo do percentil 10% seria efetuada uma posição de compra de volatilidade, compra de opção e posição de delta-hedge até o vencimento da mesma.

Assim como o método utilizado por Cerqueira (2010), para se avaliar a confiança estatística dos resultados obtidos foi aplicado o teste z para médias populacionais para as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \mu \leq 0$$

$$H_1 : \mu > 0$$

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

Em caso de rejeição da hipótese nula se rejeita a hipótese de eficiência de mercado, pois a volatilidade implícita deveria conter todas as informações presentes no mercado e no caso da hipótese nula ser rejeitada a volatilidade implícita nas opções seria menor que a ou igual a volatilidade realizada. Logo, a sobreposição 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 de compra de ações.

Outra avaliação feita pelo trabalho é no que tange aos diferentes preços de exercício, portanto as opções que possuíam índice de *moneyness* entre 0,95 e 1,05 foram separadas da seguinte forma:

- Opções *out-of-the-money*: opções com índice de *moneyness* menor que 0,975
- Opções *at-the-money*: opções com índice de *moneyness* entre 0,975 e 1,025
- Opções *in-the-money*: opções com índice de *moneyness* maiores que 1,025.

Após esta separação pelos diferentes preços de exercício buscou-se analisar a diferença média entre as mesmas quando a volatilidade implícita estivesse acima do percentil 90% do cone de volatilidade ou abaixo do percentil 10% do cone. Assim como em Cerqueira (2010), 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.

Portanto, através das análises propostas neste trabalho, busca-se saber se a volatilidade implícita obtida pelos modelos de Corrado e Su (1996) e Black e Scholes (1973) pode, através da sua sobreposição aos cones de volatilidade

histórica, ser uma ferramenta eficiente para realização de operações de compra ou de venda de volatilidade.