

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Vitor Alves Junckes

**IBOVIX:
UMA PROPOSTA DE ÍNDICE DE VOLATILIDADE IMPLÍCITA PARA
O ÍNDICE BOVESPA**

Florianópolis

2019

Vitor Alves Junckes

**IBOVIX:
UMA PROPOSTA DE ÍNDICE DE VOLATILIDADE IMPLÍCITA PARA O ÍNDICE
BOVESPA**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Econômicas do Centro Socioeconômico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel/Licenciado em Economia
Orientador: Prof. Dr. Helberte João França Almeida

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra

Junckes, Vitor

IBOVIX : Índice de Volatilidade Implícita para o Índice Ibovespa /
Vitor Junckes ; orientador, Helberte João França Almeida, 2019. 54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal
de Santa Catarina, Centro Sócio Econômico, Graduação em Ciências
Econômicas, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Volatilidade Implícita. 3. Ibovespa. 4.
Mercado de Opções. I. França Almeida, Helberte João. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III.
Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Vitor Alves Junckes

IBOVIX: ÍNDICE DE VOLATILIDADE IMPLÍCITA PARA O ÍNDICE IBOVESPA

A Banca Examinadora decidiu atribuir nota 8,0 ao aluno Vitor Alves Junckes na disciplina
CNM 7107 – Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca Examinadora:

Prof. Helberte João França Almeida, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Frois Caldeira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Guilherme Valle Moura, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus familiares, amigos e todos que me deram suporte.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente meus pais, por terem me dado todo o suporte e base necessária para que eu pudesse me dedicar totalmente à minha área de maior interesse.

Agradeço também aos meus demais familiares e principalmente meus avós, que me acolheram durante a maior parte da graduação e se dedicaram ao máximo para facilitar esse período.

Obrigado a meus colegas que iniciaram na faculdade ao meu lado e se tornaram amigos, que me ajudaram a encontrar um caminho profissional e acadêmico.

Por último agradeço a minha namorada, que esteve ao meu lado durante toda essa caminhada, me apoiando e incentivando em todos os momentos.

RESUMO

O índice de volatilidade implícita do S&P 500, VIX, é um importante índice do mercado financeiro americano e valioso indicador do sentimento do investidor. O VIX é construído através da volatilidade implícita do mercado de opções americano, mercado esse que já se encontra bastante desenvolvido também no Brasil. A volatilidade implícita de mercados e ativos, uma variável derivada do modelo Black-Scholes, além de ser utilizada como indicador dos sentimentos dos investidores, também é bastante valiosa como ferramenta de previsão da volatilidade realizada, uma característica que pode ser utilizada tanto em modelos de previsão quanto em modelos de mensuração de risco de mercado. Desta forma, a construção de um índice de volatilidade implícita para o mercado brasileiro, mais especificamente o índice Ibovespa, com características semelhantes as do VIX, trará diferentes vantagens para o investidor. Ao elaborar tal índice e avaliar como este interage com diversos fatores do mercado financeiro brasileiro e da economia em geral, como o Ibovespa e a sua volatilidade realizada, é demonstrada a relevância e importância do mesmo.

Palavras-chave: Volatilidade Implícita; Ibovespa; VIX.

ABSTRACT

The S&P 500 implied volatility index, VIX, it's an important american financial market index and a meaningful investor sentiment indicator. The VIX is built based on the implied volatility from the options of the american options market, a market that is already established in Brazil. The implied volatility from assets and markets, it's a derivative from the Black-Scholes model, besides being used as a investors sentiment indicator, it's also used and value as an asset in realized volatility forecasting model, which can be used in general forecasting model and market risk measure models. The development of an implied volatility index for the brazilian Market, specifically the Ibovespa, with similar characteristics to the VIX, will bring all the advantages already established in the american Market. The present paper build the index and show how it interacts with diferente brazilian financial markets factors and the economic in general, as the Ibovespa and the realized volatility of it.

Keywords: Implied Volatility. Ibovespa. VIX.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Série Histórica do VIX	17
Figura 2 - IBOVESPA (1989-2018).....	18
Figura 3 - Maiores Bolsa do Mundo (2007).....	19
Figura 4 - Cboe: VIX Index Historical Values.....	22
Figura 5 - IVol-BR	24
Figura 6 - Série Histórica da Volatilidade Implícita dos Vértices do Ibovespa (2017-2018) ..	26
Figura 7 - Série Histórica do Ibovespa (2017-2018).....	27
Figura 8 - Série Histórica do S&P (2017-2018).....	27
Figura 9 - Série Histórica do VIX (2017-2018)	28
Figura 10 - Série Histórica DI1F21 e DI1F27 (2017-2018).....	28
Figura 11 - Série Histórica do CSD 10Y e CDS 1Y (2017-2018)	29
Figura 12 - Ibovix e Ibovespa (2017-2018).....	33
Figura 13 - S&P 500 e VIX (2010-2018).....	37
Figura 14 - S&P 500 e VIX (2017-2018).....	38
Figura 15 - Gráfico de Volatilidades Ibovespa.....	40
Figura 16 - IVol-BR x Ibovix (2017-2018).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de Raiz Unitária	31
Tabela 2 - Teste de Autocorrelação	32
Tabela 3 - Regressão entre o Ibovix e o Ibovespa (2017 - 2018).....	34
Tabela 4 - Regressão entre o Dólar e o Ibovespa (2017-2018)	35
Tabela 5 - Regressão entre o VIX e o S&P 500 (2017-2018)	36
Tabela 6 - Regressão entre o VIX e o S&P 500 (2010-2018).....	36
Tabela 7 - Teste de Causalidade de Granger 1	41
Tabela 8 - Teste de Causalidade de Granger 2	41
Tabela 9 - Resultado dos testes de Causalidade de Granger	42
Tabela 10 - Regressão entre o Ibovix e o CDS 1Y (2017-2018).....	43
Tabela 11 - Teste de Causalidade de Granger entre Ibovix e CDS 1Y (2017-2018)	44
Tabela 12 - Regressão entre o Ibovix e o CDS 10Y (2017-2018).....	44
Tabela 13 - Teste de Causalidade de Granger entre o Ibovix e o CDS 10Y	44
Tabela 14 - Regressão entre o Ibovex e o DI1F21 (2017-2018)	46
Tabela 15 - Teste de Causalidade de Granger entre o Ibovix e o DI1F21 (2017-2018)	46
Tabela 16 - Regressão entre o Ibovix e o DI1F27 (2017-2018).....	47
Tabela 17 - Teste de Causalidade entre o Ibovix e o DI1F27 (2017-2018)	47
Tabela 18 - Regressão entre o Ibovix e o Dólar (2017-2018)	48
Tabela 19 - Teste de Causalidade de Granger entre o Ibovix e o Dólar (2017-2018).....	48
Tabela 20 - Regressão entre o Ibovix e o IVol-BR (2017-2018)	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM At The Money (No dinheiro)

OTM Out of the Money (Fora do dinheiro)

DTM Deep in The Money (Dentro do dinheiro)

IAOB Index Advisory Oversight Body (Órgão de Supervisão Consultiva de Índices)

B3 Brasil, Bolsa, Balcão

CBOE Chicago Board Options Exchange (Conselho do Mercado de Opções de Chicago)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	ÍNDICE IBOVESPA.....	18
2.2	MERCADO DE OPÇÕES	19
2.2.1	Modelo Black-Scholes	20
2.3	VIX.....	21
2.4	IVol-BR.....	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	DADOS	25
3.2	METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE.....	29
4	RESULTADOS.....	31
4.1	RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E IBOVESPA	32
4.2	RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E A VOLATILIDADE REALIZADA DO IBOVESPA 39	
4.3	RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E DEMAIS INDICADORES ECONÔMICOS E FINANCEIROS.....	42
4.3.1	Relação entre o Ibovix e o CDS.....	43
4.3.2	Relação entre o Ibovix e a taxa de juros do Brasil	45
4.3.3	Relação entre o Ibovix e o Dólar	47
4.4	RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E O IVOL-BR.....	49
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE	55

1 INTRODUÇÃO

O mercado financeiro americano sempre foi visto como pioneiro, assim, desde sua criação, muitos ativos e índices foram incrementados ao mesmo. Um desses índices é o VIX (Chicago Board Options Exchange Volatility Index), mais conhecido como “indicador do medo” dos agentes, que vem atraindo o interesse de cada vez mais investidores ao longo dos últimos anos, em virtude do seu comportamento em momentos de crises e incertezas do mercado.

O VIX é um índice de volatilidade implícita, uma variável do mercado de opções que é extraído do modelo Black-Scholes. Desta forma, é importante ressaltar que esta é uma variável implícita do modelo e só é possível encontrar o valor da mesma se todas as outras variáveis do modelo estiverem disponíveis, isso inclui o preço da opção em questão. Do modo em que o modelo Black-Scholes é construído, um aumento da volatilidade tende a aumentar o valor da opção e vice-versa, por essa característica, conforme a opção é negociada, sua volatilidade implícita se altera, tornando a mesma uma volatilidade esperada pelo mercado.

O fato do VIX ser um indicador da volatilidade esperada do mercado e do nível de incerteza, faz com que o índice carregue informações importantes, tornando o mesmo vantajoso para diversas áreas, desde modelos de previsão de mercado a modelos de mensuração e gestão de risco de mercado.

No Brasil, o principal agente do mercado financeiro, a B3 S.A. (Brasil, Bolsa, Balcão), não possui um índice semelhante, o que acaba trazendo limitações e obstáculos para o mercado Brasileiro. A não existência de um índice de volatilidade implícita para o mercado brasileiro implica em maior dificuldade e subjetividade na interpretação e mensuração do sentimento dos agentes, além de privar estudos e incentivos de um índice que possa assistir na construção de ideias inovadoras. Portanto, o presente trabalho é importante e possui relevância para o mercado e para a economia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um índice de volatilidade implícita baseado nos métodos do VIX para o índice Ibovespa.

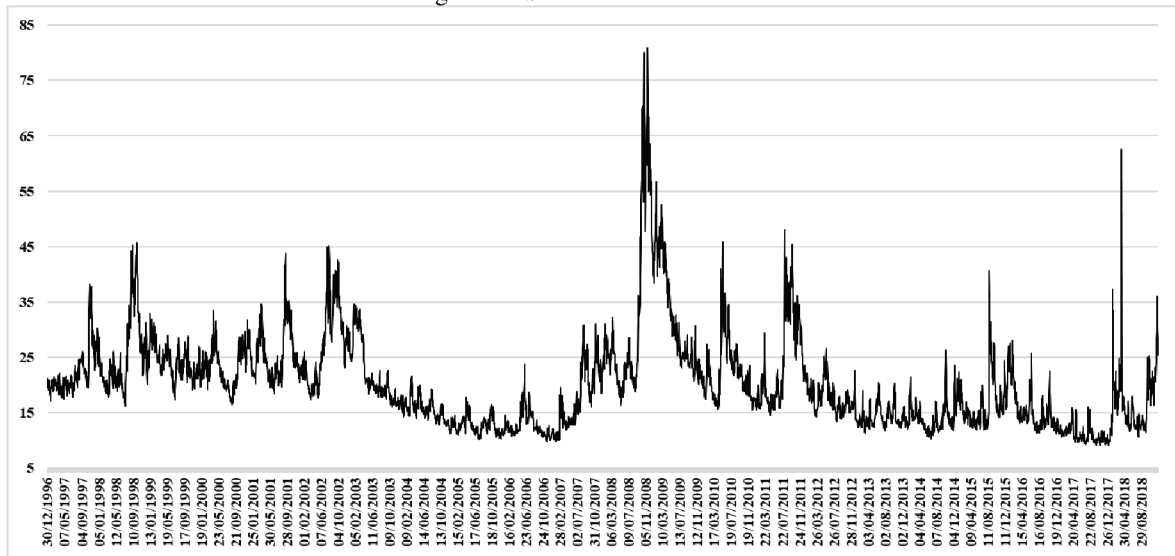
1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um índice de volatilidade para o índice Ibovespa.
- Avaliar a relação e a causalidade do índice de volatilidade implícita com o índice Ibovespa.
- Analisar a relação do índice de volatilidade implícita com diferentes indicadores econômicos e financeiros.

1.2 JUSTIFICATIVA

Desde a criação do VIX, o índice de volatilidade implícita do índice S&P 500, em 1993, verifica-se que o índice é um bom termômetro da perspectiva e do sentimento dos agentes do mercado perante a economia. Assim, é possível visualizar na figura 1, que o VIX costuma estar em um patamar elevado em momentos de crise, turbulência ou mudanças bruscas na economia, transparecendo o sentimento de incerteza do mercado. Ademais, na figura em questão, os maiores *outliers* estão no momento da crise de 2009 e no dia 04 de abril de 2018, data em que o presidente americano, Donald Trump, enviou tropas do exército para a fronteira entre os Estados Unidos da América e o México, momentos de bastante incerteza acerca do futuro da economia e da política do país (DEITRICK, 2016).

Figura 1 - Série Histórica do VIX



Fonte: Elaboração Própria

Além de sua característica de termômetro da economia, o VIX também é considerado um previsor da volatilidade realizada do mercado. Essa característica é bastante útil para modelos de mensuração de risco de mercado, comumente utilizados em gestão de carteiras e fundos de investimentos, dado que a expectativa de volatilidade seria uma ferramenta mais útil para previsão de riscos do que a volatilidade em um período passado (CHRISTENSEN; HANSEN, 2002).

O Brasil, apesar de possuir um mercado de opções já estabelecido, principalmente quando se trata de opções sobre ativos de renda variável, ainda não possui um índice que se aproxime do VIX. Exemplificando, no sistema da Bloomberg existem diferentes índices que buscam simular o VIX, apresentando a volatilidade implícita de diferentes vencimentos de cada ativo, porém nenhum índice consolida essas informações.

Desta forma, a elaboração de um índice de volatilidade implícita para o Índice Bovespa, pode trazer todos os benefícios citados do VIX para o mercado brasileiro, agregando valor ao mercado financeiro nacional e auxiliando em sistemas de mensuração de risco que possuem o Ibovespa como ativo, tanto no Brasil quanto em outros países.

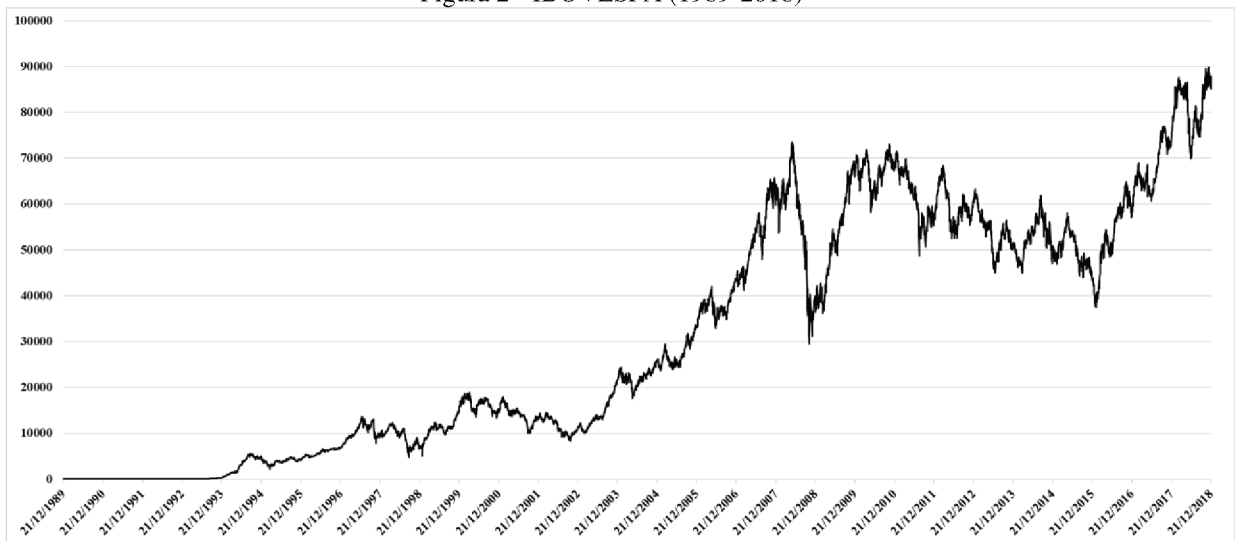
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ÍNDICE IBOVESPA

O índice Ibovespa foi criado em 1968, e segundo a B3, é o principal índice do mercado de ações brasileiros (BM&FBOVESPA, 2015). O índice é formado por uma carteira teórica de ações, que é remodelado a cada quatro meses para readequar a carteira ao momento atual do mercado financeiro de ações. (BM&FBOVESPA, 2015)

A ponderação dos ativos no índice é feita através do valor de mercado de ativos que se encontram em circulação de determinada empresa e seu volume negociado. Para participar do índice a ação precisa obedecer a alguns critérios como por exemplo ter presença em 95% dos pregões nas últimas três carteiras divulgadas e volume financeiro maior ou igual a 0,1% no mercado a vista no período das três últimas carteiras divulgadas. (BM&FBOVESPA, 2015).

Figura 2 - IBOVESPA (1989-2018)



Fonte: Elaboração Própria

Acima temos o histórico de cotações do índice disponibilizado pelo Bloomberg, que possui dados do Ibovespa desde 1989, tendo como valor inicial da série R\$0,01.

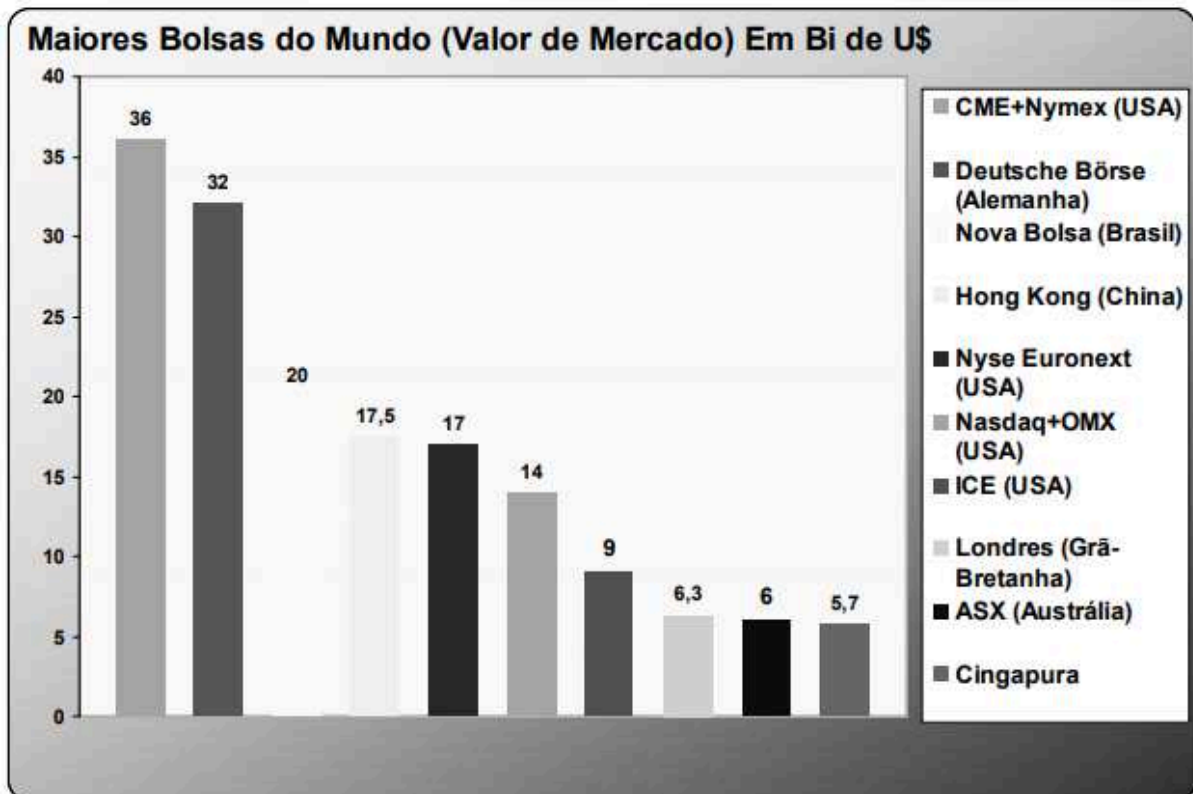
O papel de índices como o Ibovespa é demonstrar a flutuação média das cotações das ações, tornando possível a avaliação de tendências por parte dos agentes do mercado e demonstrando de forma clara a oscilação do mercado como um todo (LEITE, 1994).

Segundo Cavalcante, Misumi e Rudge (2005, p. 95), os índices de mercado cumprem três objetivos principais: i) são indicadores de variação de preços de mercado; ii) Servem de

parâmetros para avaliação de performance de portfólios; iii) São instrumentos de negociação no mercado futuro.

O índice Ibovespa é integrante da bolsa de valores brasileira, a B3. Em 2007, a B3 (que atendia pelo nome de Nova Bolsa) era a terceira maior bolsa de valores do mundo, ficando atrás apenas das bolsas dos Estados Unidos e Alemanha (SOUZA, 2008).

Figura 3 - Maiores Bolsas do Mundo (2007)



Fonte: Revista Exame

Cabe ressaltar que das três maiores bolsas do mundo, apenas a brasileira não possui um índice de volatilidade implícita local. A bolsa americana possui o VIX, a bolsa alemã possui o VDAX-NEW e a bolsa brasileira não possui tal opção.

2.2 MERCADO DE OPÇÕES

A opção é um ativo que permite ao seu proprietário ter o direito de comprar ou vender um ativo subjacente a um determinado preço. A alternativa de exercer ou não o seu direito é o

que diferencia uma opção de um contrato de futuro por exemplo, onde o exercício é obrigatório (HULL, 1989).

Uma opção de compra, ou *call*, dá o direito ao comprador da opção de comprar o ativo a um valor pré-definido em troca de um prêmio pago ao vendedor da *call*, que tem a obrigação de vender o ativo se a opção for exercida. O agente que compra uma *call* espera que o ativo suba a um patamar maior do que o valor de exercício (*strike*) (HULL, 1989).

Uma opção de venda, ou *put*, dá ao vendedor o direito de vender o ativo a um valor pré-definido em troca de um prêmio pago ao vendedor da *put*. O agente que compra um *put* espera que o ativo caia a um patamar inferior ao valor de *strike*. (HULL, 1989)

Os contratos de opção são utilizados de diversas formas pelos agentes do mercado, estratégias com opções são mais comumente utilizadas com *hedge* e especulação. (HULL, 1989). Na estratégia de *Hedge*, a opção é utilizada como redutora de uma possível perda, por exemplo, um agente que comprou o ativo X a R\$100,00 imagina que vá ter um retorno de 10% na operação, porém ao invés de ficar completamente exposto a uma queda do ativo, o agente pode comprar uma opção de venda do ativo X a R\$90,00. Dessa forma, o agente pagaria um prêmio pela opção e limitaria sua perda a 10%.

Em uma estratégia de especulação a opção é utilizada como um ativo regular que sofre de variações de altas e baixas de mercado, porém existem diversas estratégias que permitem com que a especulação através de opções de liberdade para o agente estabelecer limites de perdas e/ou ganhos. Por fim, cabe ressaltar que o maior mercado de opções em operação no mundo é o Chicago Board Option Exchange (CBOE) (HULL, 1989).

2.2.1 Modelo Black-Scholes

O modelo Black-Scholes é um modelo de precificação de opções criado em 1973 por Fischer Black e Myron Scholes. A fórmula de precificação é dada por:

$$C = S \times N(d_1) - X \times e^{-rT} \times N(d_2) \quad (1)$$

$$P = X \times e^{-rT} \times N(-d_2) - S \times N(-d_1) \quad (2)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2) \times T}{\sigma \times \sqrt{T}} \quad (3)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \times \sqrt{T} \quad (4)$$

No qual C é o prêmio de uma *Call*; P é o prêmio de uma *Put*; S é o preço do ativo objeto da opção; X é o preço de *strike* da opção; T é o tempo; R a taxa livre de juros (Selic no caso do mercado brasileiro); e σ é a volatilidade implícita da opção (BLACK; SCHOLLES, 1973).

Nota-se nesse modelo que a maioria das variáveis é facilmente descobertas, com exceção da volatilidade implícita, que é encontrada se obtivermos o preço da opção através de negociações dela no mercado. Assim, esse é o motivo dessa variável ser chamada volatilidade implícita, dado que ela é implícita do modelo. Desta forma, ela é considerada como uma previsão da volatilidade futura, dado que se a opção está mais cara, significa que a volatilidade aumentou, o que resulta do fato de que quem negociou a opção acreditava que seria plausível essa maior volatilidade.

Desde a publicação do modelo em 1973, houveram vários estudos envolvendo precificação de opções. Mesmo que o modelo inicial ainda seja o mais aceito, diversas modificações foram sugeridas, sendo elas: difusão absoluta (Cox e Ross, 1976), salto puro (Cox e Ross, 1976), raiz quadrada da elasticidade constante de modelos de variância (Cox e Ross, 1976), salto de difusão (Merton, 1976), taxas estocásticas (Merton, 1973) e volatilidade estocástica (Hull e White, 1987) (BATES, 1995).

2.3 VIX

O CBOE's Market Volatility Index ou VIX é um índice futuro da volatilidade esperada do índice S&P para os próximos 30 dias. Esse índice demonstra a volatilidade implícita dos preços das opções do índice S&P 500. (WHALEY, 2008).

O VIX foi introduzido em 1993 com dois propósitos, servir como *benchmark* de volatilidade esperada para o mercado e também criar um índice que facilitasse a negociação de volatilidade entre os agentes do mercado, algo que vem se tornando cada vez mais reconhecido e comum (WHALEY, 2008).

O índice de volatilidade é conhecido pelo mercado como um “termômetro do medo” do mercado, o que se deve à sua correlação negativa com o S&P 500. Em momento que os agentes do mercado estão incertos em relação a performance da bolsa americana, os mesmos

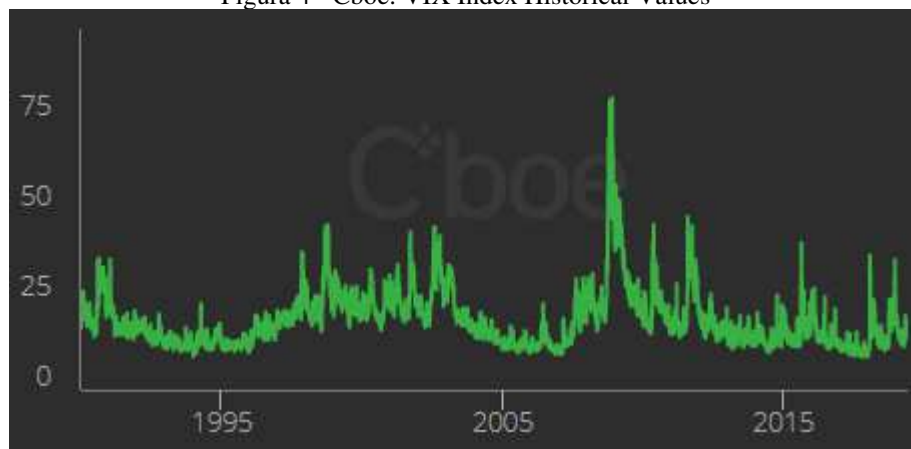
passam a comprar o VIX como forma de proteção e passam a esperar uma maior volatilidade, o que aumenta o índice. Dessa forma, um aumento do VIX demonstra uma maior incerteza do mercado com o futuro da economia (WHALEY, 2008).

Em 2006 em ordem de tornar o VIX um ativo e não somente um índice, a CBOE lançou as opções de futuro do VIX, um ativo que pode ser negociado diretamente na bolsa de Chicago. As opções de futuro do VIX atingiram uma média de negociação de aproximadamente 800,000 contratos. Se imaginarmos que a menor cotação do VIX nos últimos 5 anos foi de 9,22 no dia 01 de janeiro de 2012, e supormos que a média de negociação se manteve até a data em questão, o menor volume financeiro médio do índice foi de US\$7.376.000,00 (CBOE EXCHANGE, 2019).

O VIX mensura a volatilidade implícita do S&P 500 e é calculado em minutos através de opções *Out of the Money* e *At the Money*, com opções que expiram entre 23 e 37 dias a partir da data da cotação do índice. O peso de cada opção no índice é determinado pelo *strike* dela, quanto maior o *strike* da opção, maior seu peso no índice. Essa ponderação dá mais peso para as opções ATM, dado que uma mesma opção possui maior valor se tiver ATM do que OTM. É importante ressaltar que opções *Deep in The Money* não são utilizadas para o cálculo do índice (CBOE EXCHANGE, 2019).

O VIX é supervisionado pelo IAOB (Index Advisory Oversight Body), um órgão da Cboe Global Markets. O IAOB aprova todas as mudanças sugeridas no VIX e se encontra a cada trimestre com o intuito de discutir se o índice continuar eficiente como mensuração de volatilidade implícita de 30 dias do S&P 500 (CBOE GLOBAL MARKETS, 2018).

Figura 4 - Cboe: VIX Index Historical Values



Fonte: Cboe Global Markets (2008)

Na figura acima, apresenta-se toda a série histórica do VIX, que possui uma janela de mais de 25 anos, algo que a própria CBOE considera como uma das características mais valiosas do índice (CBOE EXCHANGE, 2019).

Atualmente, os estudos com relação ao VIX se resumem em pesquisas em três áreas principais, sendo elas: i) o potencial do índice como previsor de retorno de ativos; ii) o potencial do índice como previsor da volatilidade realizada de determinados mercados; iii) a utilização do índice para aumentar a eficiência de portfólios.

Christensen e Prabhala (1998) demonstraram que a volatilidade implícita de opções ATM de um mês de vencimento é eficiente ao prever a volatilidade realizada do S&P 100, após a crise de 1987 no mercado financeiro americano. Christensen e Hansen (2002) corroboram com essa constatação destacando também a eficiência de previsão da volatilidade implícita com a volatilidade realizada. Ambos os trabalhos se utilizam do VIX como índice de volatilidade implícita.

Chung et al. (2011) ressalta que a informação extraída do VIX auxilia na previsão dos movimentos do S&P 500. É argumentado inclusive que o VIX é melhor previsor do que a informação contida somente nas opções do S&P 500, o que demonstra a importância e eficácia do índice.

Moran e Dash (2007) defendem que devido a correlação fortemente negativa entre a volatilidade implícita e o retorno dos mercados de ações, é interessante para um portfólio que ele tenha posições compradas em volatilidade, para diminuir os riscos de queda via *hedge* de volatilidade.

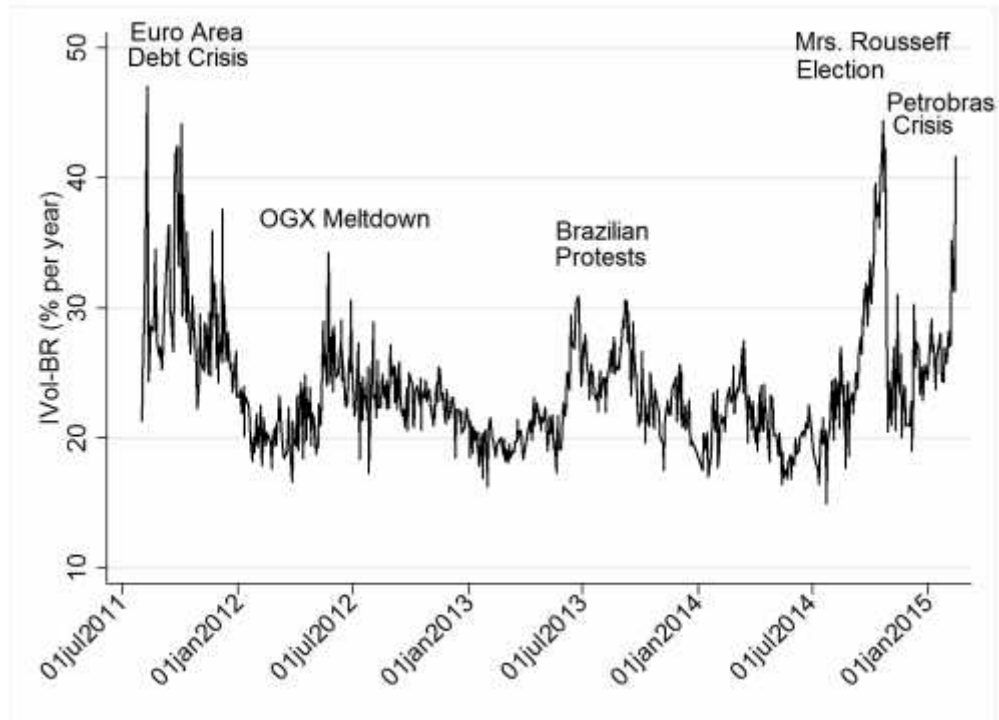
2.4 IVol-BR

Astorino et al. (2017) propuseram um índice de volatilidade implícita para o Brasil em 2017, esse índice tem as características de se utilizar dos preços diários das opções sobre o Ibovespa e realizar um ajuste na metodologia internacional padrão buscando aproximar o índice a realidade de um mercado de opções menos líquidos, que segundo os autores é uma característica do mercado local.

O trabalho demonstra que o índice possui informação sobre a volatilidade realizada futura do mercado do Ibovespa. Segundo o artigo, a volatilidade implícita reflete duas

características principais, sendo elas o nível de risco presente no mercado em determinado momento e o preço de determinado risco, refletindo o nível de aversão a risco do mercado no período. (ASTORINO et al., 2017).

Figura 5 - IVol-BR



Fonte: ASTORINO et al., 2017

O índice é publicado na página do Nefin (FEA – USP), apresentando uma série diária desde o dia primeiro de agosto de 2011 até o momento atual. Até o momento da publicação desse trabalho o índice possui 1800 dados.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho buscará alcançar seus objetivos através de três principais etapas, sendo elas: i) coleta dos dados da volatilidade implícita das opções do índice Ibovespa com vencimentos de um, dois e três meses; ii) montagem do índice de volatilidade implícita; iii) avaliação da relação entre o índice de volatilidade implícita e outros indicadores econômicos.

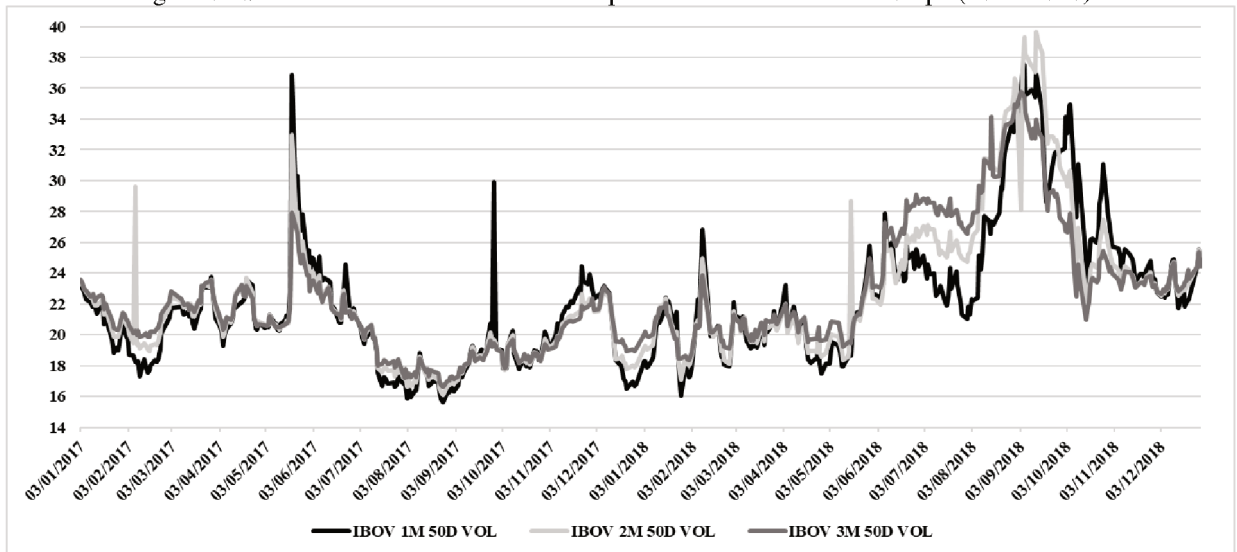
3.1 DADOS

Os dados do trabalho possuem duas fontes principais, sendo elas o Quantum Axis e a Bloomberg. O Quantum Axis, plataforma online da QUANTUM, que disponibiliza dados sobre o mercado financeiro, será utilizado como fonte de dados da série histórica do Ibovespa, Dólar, Juros, VIX e CDS, enquanto a plataforma da Bloomberg será a fonte de dados para as séries de volatilidade implícita das opções do Índice Ibovespa At the Money (ATM).

O QUANTUM é uma ferramenta e um banco de dados amplamente utilizado no mercado financeiro, a partir do qual é possível encontrar cotação online dos principais ativos do mercado brasileiro, além de fornecer séries históricas diárias a partir de 1997 de diferentes variáveis relacionadas a ativos do mercado financeiro. A plataforma Bloomberg, por sua vez, foi criada em 1981 e atualmente é uma das maiores e mais difundidas bases de dados sobre o mercado financeiro.

Os dados de volatilidade implícita utilizados no trabalho serão a volatilidade implícita das opções ATM com vencimento de um mês, dois e três meses. Esses dados estão na plataforma do Bloomberg com os nomes de IBOV 1M 50D Vol Bvol Index, IBOV 2M 50D Vol Bvol Index e IBOV 3M 50D Vol Bvol Index.

Figura 6 - Série Histórica da Volatilidade Implícita dos Vértices do Ibovespa (2017-2018)

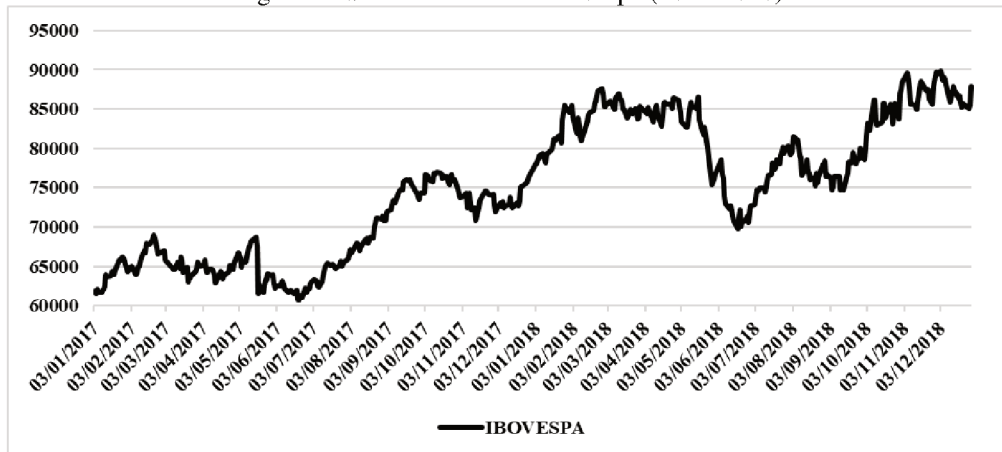


Fonte: Elaboração Própria

Além dessas fontes, o site da Brasil, Bolsa, Balcão, B3 (www.b3.com.br), será utilizado como suporte para descrições e possíveis especificações dos ativos. Ademais, todos os dados utilizados são diários. Os dados utilizados para a construção do índice e os dados de variáveis que serão comparadas com o mesmo são do período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, totalizando 484 dados para cada variável. A exceção para esta janela de dados é o período mais longo do S&P 500 e do VIX utilizado no trabalho, que possui 2257 dados, no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2018. O período utilizado no trabalho foi escolhido em virtude de uma limitação apresentada pelo sistema Bloomberg na coleta de dados que envolvam volatilidade implícita de qualquer mercado.

Para comparação com o índice de volatilidade implícita, serão utilizados dados diários de 2017 e 2018 do Ibovespa, Dólar, VIX, S&P, CDS 1Y, CDS 10Y, DI1F21 e DI1F27. O Ibovespa é o ativo objeto de qual o índice de volatilidade implícita servirá como derivativo, é o ativo referência do mercado de ações brasileiros.

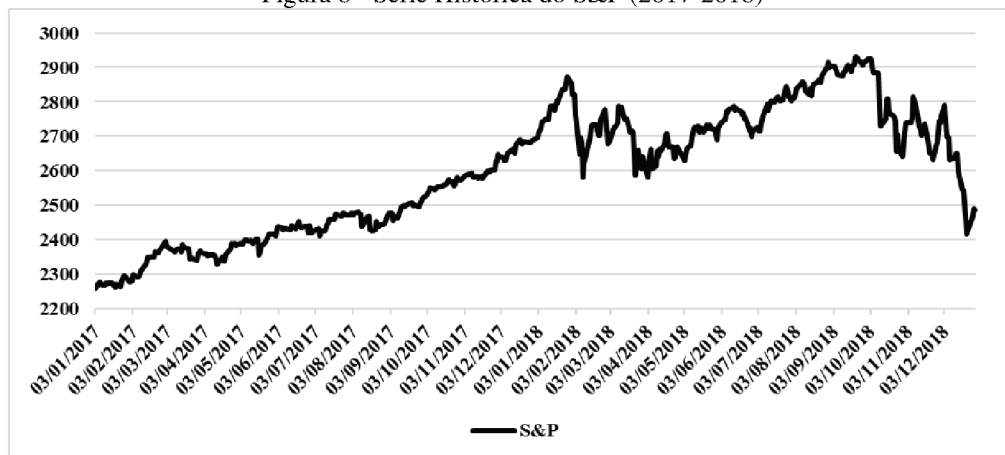
Figura 7 - Série Histórica do Ibovespa (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

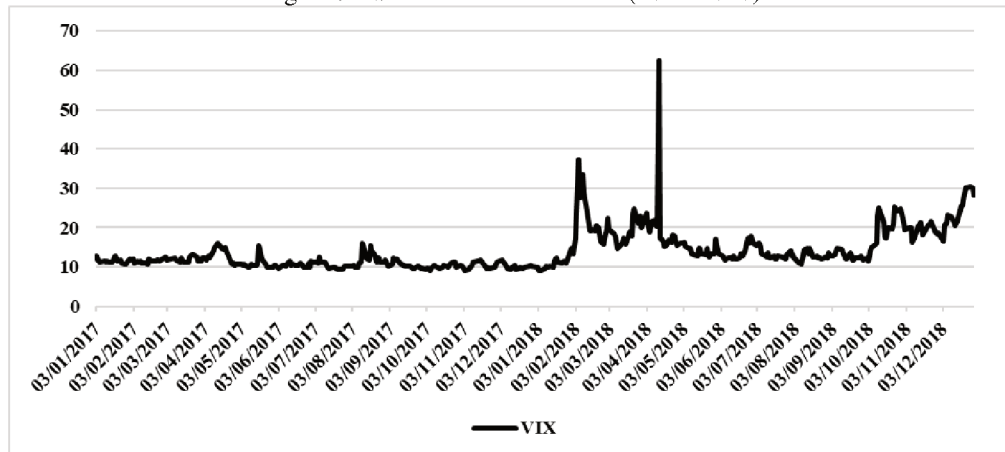
O S&P 500 e o VIX são os paralelos para o Ibovespa e o Ibovix para o mercado americano, serão a referência utilizada para a construção do índice nesse trabalho.

Figura 8 - Série Histórica do S&P (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

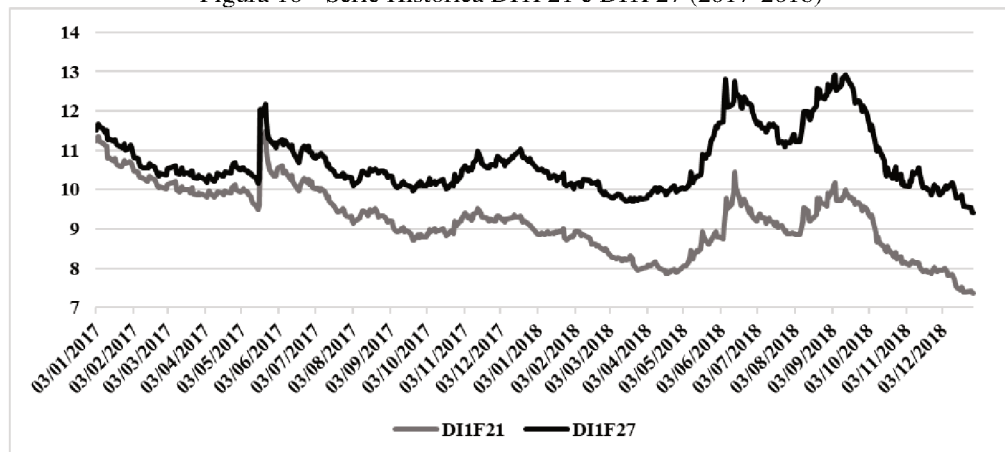
Figura 9 - Série Histórica do VIX (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

O DI1F21 e o DI127 são as taxas futuras da curva de juros, sendo o DI1F21 a ponta curta da curva e o DI1F27 a ponta longa da curva. Estes serão utilizados para testar a relação entre o Ibovix e o mercado de juros brasileiro.

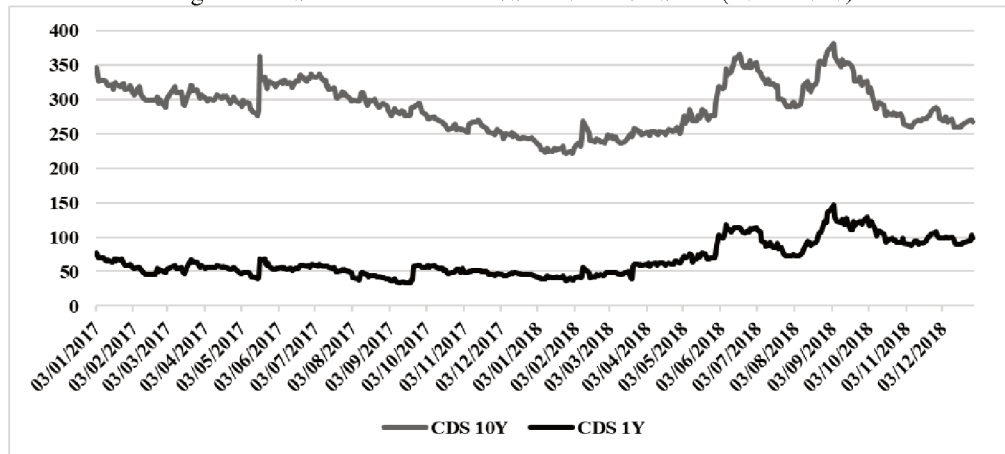
Figura 10 - Série Histórica DI1F21 e DI1F27 (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

O CDS 10Y e o CSD 1Y são índices de risco país para o Brasil e serão utilizados para testar a relação do Ibovix como índice de medo e sua relação com o risco do país.

Figura 11 - Série Histórica do CSD 10Y e CDS 1Y (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

3.2 METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE

As principais características da construção do VIX são preservadas na construção do Ibovix. Tais características são: i) índice construído tendo 1 mês como referência, no caso do Ibovix, serão utilizados 21 dias úteis; ii) utilização dos vértices de 1 a 3 meses; iii) interpolação exponencial.

O índice de volatilidade é construindo primeiramente a partir da interpolação dos vértices de um, dois e três meses da volatilidade implícita do Ibovespa. A interpolação utilizada é a exponencial, conforme segue:

$$(1 + i_t) = (1 + i_{t-1}) \times \left(\frac{1+i_{t+1}}{1+i_{t-1}} \right)^{\left(\frac{du_t - du_{t-1}}{du_{t+1} - du_{t-1}} \right)} \quad (5)$$

Cabe ressaltar que, i : taxa; e du : dias úteis em questão. A fórmula em questão, quando aplicada ao índice, se utiliza da volatilidade implícita de dois vértices e calcula qual a volatilidade implícita de um momento dentre esses dois vértices, criando um ponto sintético. Essa metodologia é bastante utilizada no cálculo da Estrutura a Termo de Taxa de Juros, onde se utiliza os futuros de DI e se calcula a taxa para todos os dias na curva de juros.

O índice interpola a volatilidade implícita de 21 dias úteis de vencimento entre o primeiro e o segundo vencimento até que o dia atual se encontre a menos de 07 dias úteis do primeiro vencimento, nessa circunstância são interpoladas as taxas do segundo e terceiro vencimentos. Isso é feito para que o índice não seja contaminado pelas altas volatilidades ocasionadas pelas opções *At The Money* do vencimento em questão.

Após realizados todos os passos, se tem um índice de volatilidade implícita dos vértices curtos das opções do Ibovespa com 50% de delta, conhecidas como opções *At The Money*, opções que estão muito próximas a seu *strike* e estão no limiar para se tornarem *In the Money* ou *Out of the Money*.

4 RESULTADOS

Nesta seção do trabalho, são apresentados os resultados encontrados nos testes da relação entre o índice construído e variáveis, principalmente outros índices utilizados no mercado financeiro.

Assim, a seção foi dividida em três partes: a primeira aborda a relação entre o Ibovix e o Ibovespa; na segunda mostra-se a relação entre o Ibovix e a volatilidade realizada do mercado, discutindo o poder de previsão da volatilidade implícita do Ibovespa sobre a sua volatilidade realizada; e na terceira apresenta-se como o índice se relaciona com demais variáveis do mercado.

Em ordem de garantir a eficácia dos testes realizados nesta seção, foram feitos alguns testes de séries temporais que buscam demonstrar a integridade dos testes de regressão e causalidade.

O teste de raiz unitária foi realizado para assegurar que as variáveis do modelo sejam estacionárias, ou seja, não possuam nenhuma tendência específica (como exponencial, por exemplo), o que comprometeria os resultados dos testes. Os resultados do teste demonstram que todas as variáveis utilizadas são estacionárias.

Tabela 1 - Teste de Raiz Unitária

ESTACIONÁRIDADE				
TESTE DE RAIZ UNITÁRIA				
	adfibovix_ts	adfibovespa_ts	adfdolar_ts	adfvixh_ts
Dickey-Fuller	-13,31212	-11,44622	-11,36192	-26,89706
P-Value	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000
	adfspxh_ts	adfvix_ts	adfspx_ts	adfretvolibov5_ts
Dickey-Fuller	-24,76867	-13,08306	-10,58345	-12,54269
P-Value	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000
	adfretvolibov21_ts	adfretvolibov63_ts	adfretvolibov126_ts	adfretvolibov252_ts
Dickey-Fuller	-10,12951	-10,55103	-10,94498	-10,54555
P-Value	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000
	adfretcds1y_ts	adfretcds10y_ts	adfretDII F21_ts	adfretDII F27_ts
Dickey-Fuller	-11,49794	-11,78124	-12,15923	-11,85679
P-Value	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000

Fonte: Elaboração Própria.

O teste de auto correlação foi feito com o intuito de verificar se as variáveis não possuem correlação com seus valores defasados, o que significaria que ela fosse autoexplicativa. Os resultados do teste demonstram que não existe auto correlação nas variáveis utilizadas no trabalho.

Tabela 2 - Teste de Autocorrelação

TESTE DE AUTOCORRELAÇÃO				
	ibovix_ts	ibovespa_ts	dolar_ts	vixh_ts
Dickey-Fuller	-0,3250712	-0,03967805	-0,03840025	-0,1300292
	spxh_ts	vix_ts	spx_ts	retvolibov5_ts
Dickey-Fuller	-0,04181071	-0,2193472	0,0243486	-0,1457742
	retvolibov21_ts	retvolibov63_ts	retvolibov126_ts	retvolibov252_ts
Dickey-Fuller	0,02608403	0,04108201	0,168702	-0,10908
	retcds1y_ts	retcds10y_ts	retD11F21_ts	retD11F27_ts
Dickey-Fuller	-0,01068051	-0,05998543	-0,02912882	-0,007990563

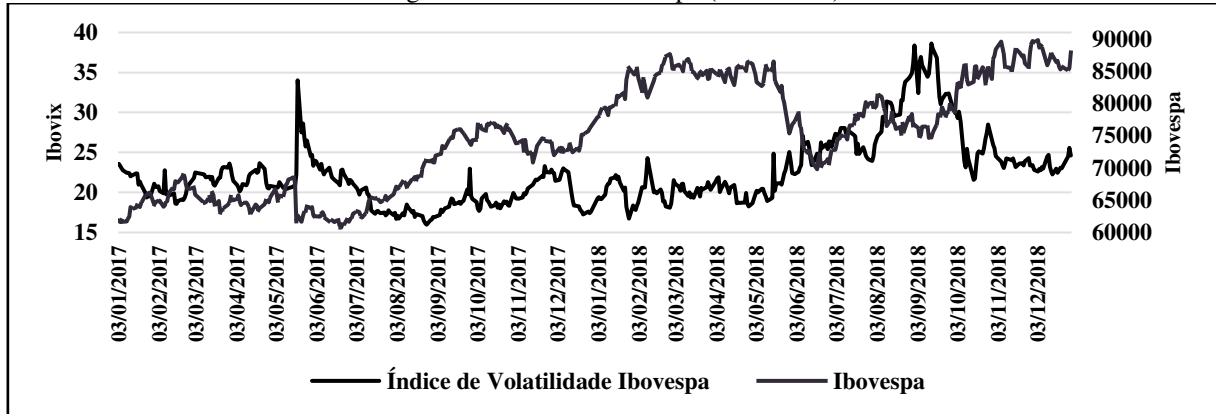
Fonte: Elaboração Própria

4.1 RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E IBOVESPA

Uma vez construído o índice, foi realizada uma comparação entre o Ibovix e o Ibovespa. Desta forma, é possível visualizar movimentos de correlação negativa entre os índices precisamente, a correlação é fortemente visível nos períodos de novembro de 2017 a janeiro de 2018 e agosto a outubro de 2018.

Na figura 11 também é possível observar o comportamento do índice como indicador de medo e sentimento do investidor, observa-se no dia 18/05/2017 um pico de alta no gráfico, consequência do evento conhecido no mercado financeiro como “Joesley Day”, dia em que Joesley Batista tornou público um áudio em que o Presidente Michel Temer autorizava a compra do silêncio de deputado Eduardo Cunha. Esse evento trouxe muita incerteza ao mercado financeiro, dado que seus participantes eram figuras de extrema importância na política nacional (TARDO; SOUZA, 2017).

Figura 12 - Ibovix e Ibovespa (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

Em ordem de testar a relação entre os índices, foi realizada uma regressão linear do Ibovespa e Ibovix com o intuito de buscar compreender o quanto o índice de volatilidade implícita explica o índice Ibovespa.

Realizar a regressão neste momento é importante para entendermos se existe realmente uma relação entre os dois índices, e caso se confirme, como essa relação se comporta e qual o impacto de um índice sobre o outro.

$$\ln(Ibovespa_t/Ibovespa_{t-1}) = 0,0007289 - 0,0465954 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

A regressão retornou que para uma variação de 1% no Ibovix se espera uma variação de -0,0466% no Ibovespa. Este dado em um primeiro momento pode parecer baixo, porém é importante ressaltar que as variáveis possuem desvio padrão discrepante. Anualizando a volatilidade de ambos no período, o Ibovespa apresenta uma volatilidade de 20,66%, enquanto o Ibovix possui uma volatilidade de 111,80%, um valor mais de 5 vezes superior à volatilidade do Ibovespa.

Tabela 3 - Regressão entre o Ibovix e o Ibovespa (2017 - 2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,08896	-0,006745	0,000142	0,007253	0,037197
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0007289	0,0005718	1,275	0,203
Ibovix_ts	-0,0465954	0,0081278	-5,733	1,74e-08 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,01261 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,06359, Adjusted R-squared: 0,06165				
F-statistic: 32,87 on 1 and 484 DF, p-value: 1,74e-08				

Fonte: Elaboração Própria

Para efeito de comparação, em outra regressão foi colocado o Dólar contra o Ibovespa no mesmo período, dado que conforme demonstrado por Pimenta Junior e Higuchi (2008) a variável possui forte correlação com o Ibovespa. A regressão demonstrou que para uma variação de 1% no dólar se espera uma variação de -0,6382% no Ibovespa, uma relação aparentemente mais relevante em um primeiro momento.

$$\ln(Ibovespa_t/Ibovespa_{t-1}) = 0,0009497 - 0,6381932 \ln(Dólar_t/Dólar_{t-1}) + \varepsilon$$

É importante ressaltar que o Dólar apresenta uma volatilidade mais próxima ao do Ibovespa, tendo 13,40% como volatilidade anualizada no período. Isso sinaliza que tanto o Ibovix quanto o Dólar possuem uma relação negativa com o Ibovespa, ambas as relações são relevantes, o que demonstra que assim como o Dólar, o Ibovix é uma variável que poderia ajudar a entender o Ibovespa ou até mesmo servir como *hedge* para um investimento na bolsa de valores.

Tabela 4 - Regressão entre o Dólar e o Ibovespa (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,393	-0,006981	0,000893	0,007464	0,037197
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0009497	0,0005383	1,764	0,0783 .
dolar_ts	-0,6381932	0,0637817	-10,006	< 2e-16 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,01186 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,1714, Adjusted R-squared: 0,1697				
F-statistic: 100,01 on 1 and 484 DF, p-value: 2,2e-16				

Fonte: Elaboração Própria

Para se alcançar um melhor efeito comparativo, foi efetuada também uma regressão entre o S&P 500 e o VIX para o mesmo período de análise, 2017 e 2018, e para um período mais longo, 2010 a 2018. O dado de 2017 e 2018 foi de que o para uma variação de 1% do VIX se espera uma variação de -0,0369% do S&P 500, enquanto no período de 2010 a 2018 o movimento de 1% do VIX implica em uma variação de -0,0795% no S&P 500. Este resultado demonstra que a relação entre o VIX e o S&P 500 é semelhante à relação entre o Ibovix e o Ibovespa, o que defende a hipótese de que o índice poderia ser utilizado de maneira similar ao VIX para o mercado brasileiro.

$$\ln(S\&P500_t/S\&P500_{t-1}) = 0,0002579 - 0,0368843 \ln(VIX_t/VIX_{t-1}) + \varepsilon$$

Tabela 5 - Regressão entre o VIX e o S&P 500 (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,05035	-0,001848	-0,000031	0,002512	0,049605
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0002579	0,0003034	0,85	0,396
vix_ts	-0,0368843	0,0026186	-14,09	< 2e-16 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,006689 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,2907, Adjusted R-squared: 0,2893				
F-statistic: 198,4 on 1 and 484 DF, p-value: 2,2e-16				

Fonte: Elaboração Própria

Vale ressaltar que assim como o Ibovespa e o Ibovix, o VIX e o S&P 500 possuem desvios padrões bastante diferentes. Enquanto a volatilidade anualizada do S&P na janela mais curta e na mais longa foi de 12,59% e 15,05% respectivamente, a volatilidade anualizada do VIX nas mesmas janelas foi de 184,12% e 135,83%.

$$\ln(S\&P500h_t/S\&P500h_{t-1}) = 0,0003652 - 0,0795123 \ln(VIXh_t/VIXh_{t-1}) + \varepsilon$$

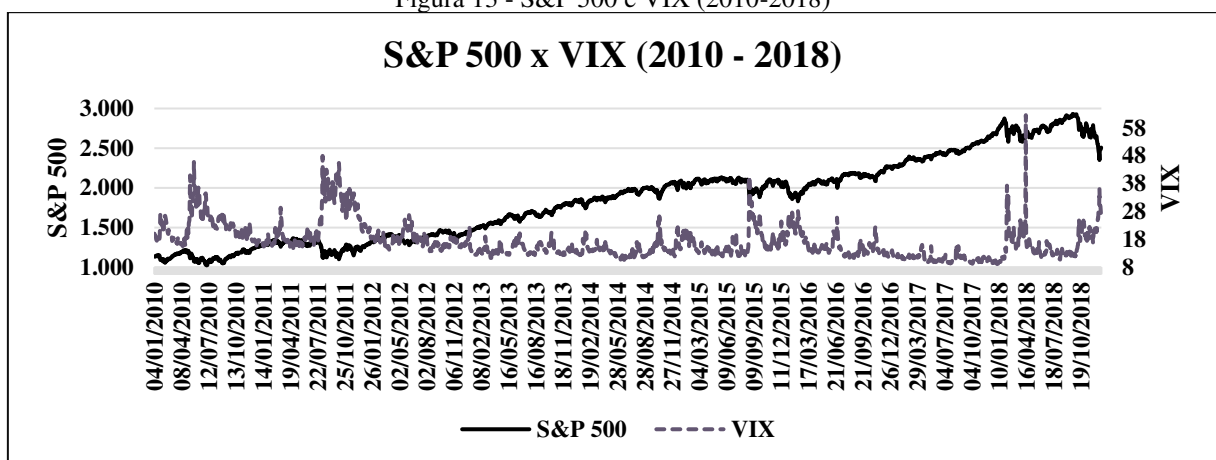
Tabela 6 - Regressão entre o VIX e o S&P 500 (2010-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,10501	-0,002779	-0,000072	0,002915	0,097629
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0003652	0,0001391	2,626	0,00869 **
vixh_ts	-0,0795123	0,0016255	-48,916	< 2e-16 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,006609 on 2257 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,5146, Adjusted R-squared: 0,5144				
F-statistic: 2393 on 1 and 2257 DF, p-value: 2,2e-16				

Fonte: Elaboração Própria

A figura 12 ilustra o movimento dos índices S&P 500 e VIX. Como se percebe, os movimentos são semelhantes aos do Ibovespa e Ibovix. No período o S&P 500 se movimenta com menor volatilidade, enquanto o VIX, assim como o Ibovix, apresenta picos de máximo e vales de mínimo mais discrepantes, fruto da maior volatilidade do índice. Isto sinaliza que o VIX é um índice bastante volátil, principalmente por ser construído através de uma porcentagem, o que faz com que seja uma volatilidade de taxa, e dessa forma reaja de maneira muito mais brusca a estresses no mercado.

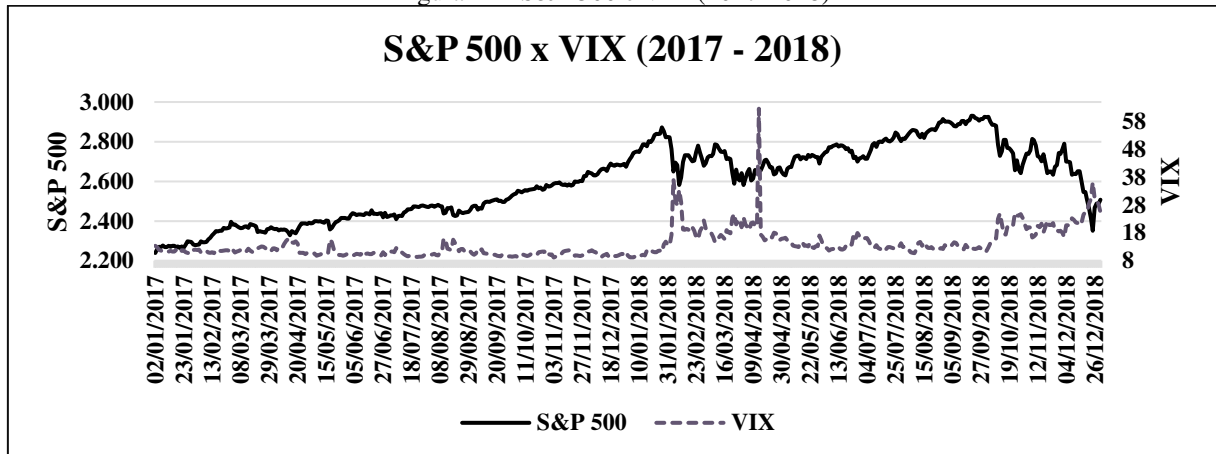
Figura 13 - S&P 500 e VIX (2010-2018)



Fonte: Elaboração Própria

A figura 13 mostra a relação entre o S&P 500 e o VIX no período de 2017 a 2018. É interessante notar que o gráfico do VIX possui um *outlier* de máxima ocorrido no dia 12 de abril de 2018 – período de início da guerra comercial entre China e Estados Unidos. Portanto, tal resultado sugere que tanto o Ibovix quanto o VIX apresentam outliers em momentos de extrema incerteza dos agentes.

Figura 14 - S&P 500 e VIX (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

Os resultados das regressões realizados parecem baixo em um primeiro momento, devido a seus coeficientes baixos, dando a entender que os índices de volatilidade implícita não teriam tanto impacto em seus índices objeto, porém é consenso entre agentes do mercado financeiro e comprovado através de estudos que o VIX é um indicador com relação negativa com o S&P 500 e bastante relevante para explicar os movimentos do mesmo.

Uma forma de melhor interpretar as relações entre os índices é levar em considerações seus desvios padrões, dessa forma, interpretamos quanto um indicador explica o outro em uma circunstância em que os dois variam um desvio padrão. Para chegar a esse entendimento, os resultados das regressões são multiplicados pelo desvio padrão do indicador em seu respectivo período.

Após multiplicados os resultados das regressões pelos desvios padrões anualizados do período, foram auferidos os seguintes resultados: uma variação de 1% do Ibovix acarreta uma variação de -0,25215% de um desvio padrão do Ibovespa no período, enquanto o movimento de 1% do VIX causa uma variação de -0,53941% no S&P 500 no período de 2017 e 2018, e -0,71762% no período de 2010 a 2018.

Essa relação entre os índices é explicada pelo fato de que tanto o Ibovix quanto o VIX são construídos com a volatilidade implícita das opções do mercado. Dado que as opções são comumente utilizadas como *hedge*, quando o mercado se encontra em um momento de incerteza, os agentes buscam montar estruturas com opções para se proteger. Esse movimento de demanda por opções faz com que a volatilidade implícita aumente, desse modo o índice reflete a demanda por proteção no mercado. Como o mercado de opções é bastante líquido e

volátil, torna-se possível que ocorram movimentos bruscos como vemos no “Joesley Day” no índice Ibovix.

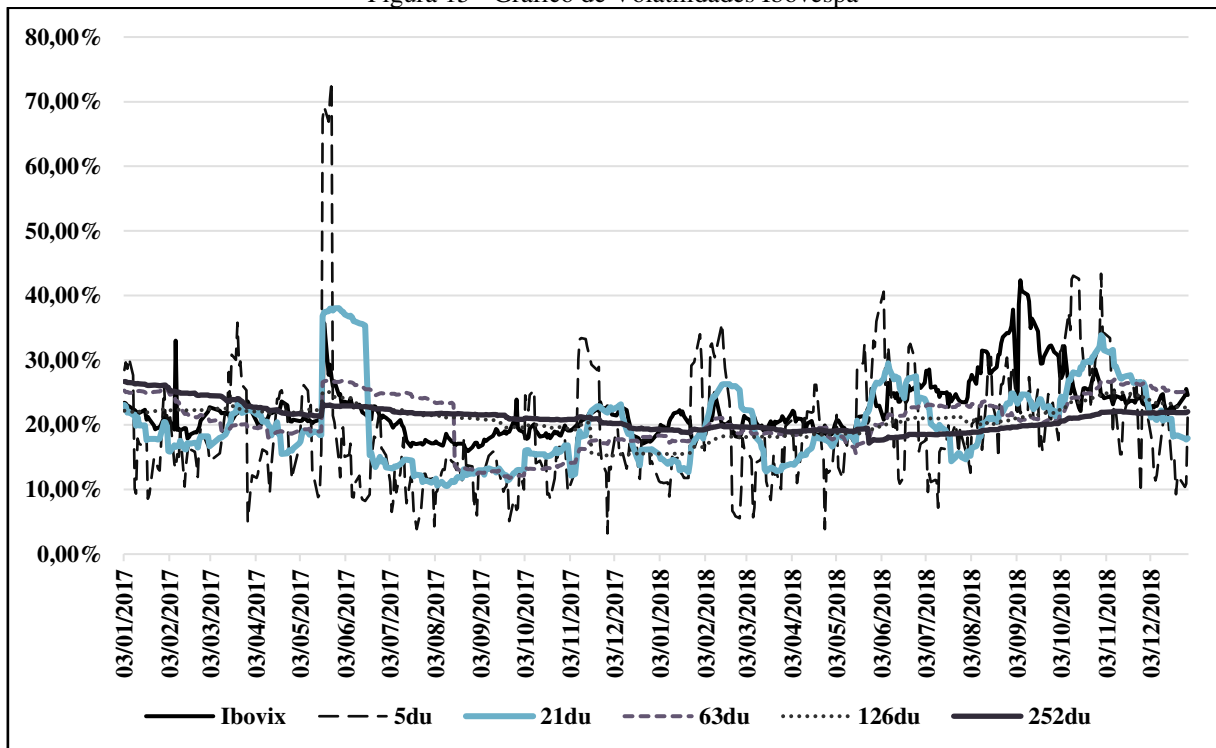
Quanto a maior relação entre o VIX e o S&P 500 em comparação ao Ibovix e o Ibovespa, é possível argumentar que isso decorre em virtude de dois principais motivos. O primeiro motivo seria a maior difusão e liquidez do mercado de opções americanos, o que poderia intensificar a relação, enquanto o segundo motivo seria que o Ibovix é um índice teórico, enquanto o VIX é um índice já estabelecido que possui derivativos que viabilizam que investidores operem o índice em si.

4.2 RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E A VOLATILIDADE REALIZADA DO IBOVESPA

Conforme demonstrado por Christensen e Prabhala (1998), existe uma relação relevante entre a volatilidade implícita de um mercado e sua volatilidade realizada, mais especificamente entre o VIX e o S&P 500. Nesta seção será explorada essa possível relação e suas consequências para o Ibovix e o Ibovespa.

A figura 14 mostra a série temporal de diferentes janelas de volatilidade realizada do índice Ibovespa e o Ibovix, que representa a volatilidade implícita do Ibovespa. É possível notar que todas apresentam um movimento de tendência semelhantes, apresentando movimentos de curto prazo divergentes, em virtude da frequência de cada janela.

Figura 15 - Gráfico de Volatilidades Ibovespa



Fonte: Elaboração Própria

Em ordem de testar a relação entre o índice de volatilidade implícita do Ibovespa e a volatilidade realizada do índice, foi realizado o teste de causalidade de Granger entre as duas variáveis. O Ibovix foi comparado com a volatilidade realizada do Ibovespa em janelas móveis de 5, 21, 63, 126 e 252 dias úteis, com defasagens de 1, 2 e 3 dias úteis. A comparação com diversas janelas foi feita para testar qual janela de volatilidade o Ibovix representa melhor, enquanto a defasagem ajuda a entender se existe uma janela de tempo entre a volatilidade implícita e seu reflexo na volatilidade realizada.

Excluindo os resultados da volatilidade realizada de 5 dias úteis, todas as demais janelas apresentaram relação de causalidade, sendo que a janela com relação de causalidade mais aparente com o Ibovix foi a janela de 63 dias, com um e dois dias de defasagem, conforme demonstrado nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Teste de Causalidade de Granger 1

Granger Causality Test				
Model 1: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:1) + Lags(retvolibov63_ts, 1:1)				
Model 2: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:1)				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	482			
2	483	-1	12,126	0,0005425 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 8 - Teste de Causalidade de Granger 2

Granger Causality Test				
Model 1: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:2) + Lags(retvolibov63_ts, 1:2)				
Model 2: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:2)				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	479			
2	481	-2	7,1791	0,0008471 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

Buscando entender em qual janela de volatilidade o Ibovix tem mais influência, foi feito o teste de causalidade de Granger para todas as janelas anteriormente apresentadas e respectivas defasagens. A tabela 9 traz os resultados de todos os testes realizados. É demonstrado que existe uma relação de causalidade entre a volatilidade implícita e a volatilidade realizada do Ibovespa em várias das janelas utilizadas.

Tabela 9 - Resultado dos testes de Causalidade de Granger

Janela	Desfasagem	F	Pr(>F)
5	-1	1,0947	0,296
5	-2	1,9249	0,147
5	-3	1,6519	0,1766
21	-1	9,6326	0,002024 **
21	-2	5,4409	0,004608 **
21	-3	3,8414	0,009754 **
63	-1	12,126	0,0005425 ***
63	-2	7,1791	0,0008471 ***
63	-3	5,0534	0,001869 **
126	-1	4,9831	0,02605 *
126	-2	2,7002	0,06822 .
126	-3	2,0179	0,1106
252	-1	7,1242	0,007862 **
252	-2	3,6392	0,027 *
252	-3	4,1584	0,006342 **

Fonte: Elaboração Própria

O fato de os testes terem demonstrado relação de causalidade (no sentido de granger) em diversas janelas e diferentes defasagens torna difícil de se afirmar com qual janela de volatilidade o Ibovix melhor se relaciona. Além disso, o resultado demonstra que o Ibovix poderia ser utilizado como uma *proxy* ou ferramenta de previsão, pois o teste de causalidade de granger mostra que há uma relação causal com a volatilidade realizada. Esta característica preditiva faz com que o índice se torne relevante em diversas áreas – como nas áreas de mensuração de risco e aplicação em fundos quantitativos, por exemplo.

4.3 RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E DEMAIS INDICADORES ECONÔMICOS E FINANCEIROS

Após demonstrado como o Ibovix se comporta perante o Ibovespa e a volatilidade realizada, esta seção apresenta a relação do Ibovix com outras variáveis econômicas, sendo elas CDS, juros e dólar.

4.3.1 Relação entre o Ibovix e o CDS

O CDS (*Credit Default Swap*) é uma medida de mensuração do risco país, é uma espécie de seguro em relação ao calote da dívida soberana do país em questão. Em um momento de incerteza sobre a capacidade do país honrar com suas obrigações, os agentes demandam mais desse seguro, elevando o valor do índice.

$$\ln(CDS1Y_t/CDS1Y_{t-1}) = 0,0005084 + 0,1318502 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

$$\ln(CDS10Y_t/CDS10Y_{t-1}) = -0,005396 + 0,0354752 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

Uma relação entre o CDS e o Ibovix possui embasamento econômico, dado que ambos possuem características semelhantes, sendo indicadores de incerteza do mercado. Assim, em ordem de testar a relação entre ambos os indicadores foi feita uma regressão do período de 2017 a 2018, cujos resultados estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 10 - Regressão entre o Ibovix e o CDS 1Y (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,20934	-0,02693	-0,00162	0,02094	0,49311
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0005084	0,0027788	0,183	0,854921
ibovix_ts	0,1318502	0,0394987	3,338	0,000909 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,06126 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,0225, Adjusted R-squared: 0,02048				
F-statistic: 11,14 on 1 and 484 DF, p-value: 0,0009086				

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 11 - Teste de Causalidade de Granger entre Ibovix e CDS 1Y (2017-2018)

Granger Causality Test				
Model 1: $ibovix_{ts} \sim \text{Lags}(ibovix_{ts}, 1:1) + \text{Lags}(retcds1y_{ts}, 1:1)$				
Model 2: $ibovix_{ts} \sim \text{Lags}(ibovix_{ts}, 1:1)$				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	482			
2	483	-1	17,588	3,264e-05 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '***'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 12 - Regressão entre o Ibovix e o CDS 10Y (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,115811	-0,011959	-0,000454	0,009489	0,240539
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0,005396	0,0010267	-0,526	0,5995
ibovix_ts	0,0354752	0,0145943	2,431	0,0154 *
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '***'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,02263 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,01206, Adjusted R-squared: 0,01002				
F-statistic: 5,909 on 1 and 484 DF, p-value: 0,01543				

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 13 - Teste de Causalidade de Granger entre o Ibovix e o CDS 10Y

Granger Causality Test				
Model 1: $ibovix_{ts} \sim \text{Lags}(ibovix_{ts}, 1:1) + \text{Lags}(retcds10y_{ts}, 1:1)$				
Model 2: $ibovix_{ts} \sim \text{Lags}(ibovix_{ts}, 1:1)$				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	482			
2	483	-1	35729	4,415e-09 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '***'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados da regressão, 0,1318% para o CDS de um ano e 0,0354% para o CDS de 10 anos, com a causalidade sendo acusada como relevante para ambos, demonstra que existe relação entre o Ibovix e o risco país do Brasil.

Os resultados são coerentes no sentido econômico. Por ser um indicador de curto prazo, o Ibovix apresenta uma relação mais profunda com o CDS de 1 ano - que busca refletir mudanças de curto prazo no cenário econômico doméstico. O CDS de 10 anos, por sua vez, reflete em maior grau questões estruturais do país - como a situação da dívida pública por exemplo - algo que o Ibovix não retrata de maneira tão precisa, já que é um indicador de pânico dos agentes e, com isso, é impactado por ruídos que não mudam a trajetória de longo prazo de uma economia.

4.3.2 Relação entre o Ibovix e a taxa de juros do Brasil

O mercado de futuros da taxa de juros do Brasil é onde os agentes precificam qual o juro esperado para determinado vértice (intervalo de tempo até o vencimento) da curva de juros. Por mais que a taxa de juros não seja necessariamente um indicador que represente medo ou incerteza, dado que um aumento de certeza pode levar a taxa tanto para cima quanto para baixo, na maioria das vezes, um aumento da incerteza leva a um aumento nas taxas, que passam a refletir uma maior prêmio de risco.

Para testar uma possível relação entre o Ibovix e a taxa de juros do Brasil, foi feita uma regressão entre o Ibovix e o DI1F21 e DI1F27, dois papéis que representam a taxa de juros, o primeiro a taxa de janeiro de 2021 e o segundo a taxa de janeiro de 2027, representado a taxa de juros de curto e longo prazo respectivamente. Portanto, ao fazer este teste é esperado que uma relação entre o Ibovix e momentos de estresse na taxa de juros seja comprovado.

$$\ln(DI1F21_t/DI1F21_{t-1}) = -0,0008416 + 0,0213763 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

$$\ln(DI1F27_t/DI1F27_{t-1}) = -0,0003952 + 0,0211679 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

Tabela 14 - Regressão entre o Ibovex e o DI1F21 (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,045765	-0,006269	-0,00452	0,00543	0,170036
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0,0008416	0,0006147	-1,369	0,1716
ibovix_ts	0,0213763	0,0087369	2,447	0,0148 *
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,01355 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,01222, Adjusted R-squared: 0,01018				
F-statistic: 5,986 on 1 and 484 DF, p-value: 0,01477				

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 15 - Teste de Causalidade de Granger entre o Ibovex e o DI1F21 (2017-2018)

Granger Causality Test				
Model 1: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:1) + Lags(retDI1F21_ts, 1:1)				
Model 2: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:1)				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	482			
2	483	-1	55896	3,635e-13 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

O resultado da regressão e do teste de causalidade entre o Ibovex e o DI1F21, demonstrou que existe uma relação entre ambos os índices, porém uma relação não tão relevante, embora a causalidade tenha se mostrado relevante.

Tabela 16 - Regressão entre o Ibovix e o DI1F27 (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,41648	-0,006738	-0,000157	0,00604	0,158472
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0,0003952	0,000602	-0,656	0,5118
ibovix_ts	0,0211679	0,0085571	2,474	0,0137 *
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,01327 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,01249, Adjusted R-squared: 0,01045				
F-statistic: 6,119 on 1 and 484 DF, p-value: 0,01371				

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 17 - Teste de Causalidade entre o Ibovix e o DI1F27 (2017-2018)

Granger Causality Test				
Model 1: $ibovix_ts \sim Lags(ibovix_ts, 1:1) + Lags(retDI1F27_ts, 1:1)$				
Model 2: $ibovix_ts \sim Lags(ibovix_ts, 1:1)$				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	482			
2	483	-1	51,618	2,577e-12 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

O resultado da regressão e do teste de causalidade entre o Ibovix e o DI1F27, demonstra que da mesma forma que o DI1F21, existe uma relação causal com o Ibovix, porém pouco significativa.

Com o impacto semelhante do Ibovix nos dois vértices da curva de juros, é possível que exista uma relação entre o Ibovix e o nível da Estrutura a Termo da Taxa de Juros, porém não é possível comprovar esta relação através dos resultados auferidos.

4.3.3 Relação entre o Ibovix e o Dólar

O Dólar, assim como o Ibovix, é uma variável utilizada como *hedge* pelos investidores e, com isso, também reflete o nível de incerteza do mercado. Devido ao embasamento

econômico sobre a relação entre estas duas variáveis, foi feita uma regressão em ordem de auferir se existe de fato uma relação entre ambas.

$$\ln(Dólar_t/Dólar_{t-1}) = 0,0003514 + 0,0202323 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

Tabela 18 - Regressão entre o Ibovix e o Dólar (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,037399	-0,004631	-0,000167	0,003916	0,082198
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0003514	0,0003778	0,93	0,352797
ibovix_ts	0,0202323	0,0053705	3767	0,000185 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,008329 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,02849, Adjusted R-squared: 0,02648				
F-statistic: 14,19 on 1 and 484 DF, p-value: 0,0001854				

Fonte: Elaboração Própria

A regressão retornou que existe uma relação positiva entre as duas variáveis, onde a cada 1% de aumento do Ibovix o Dólar aprecia em 0,0202% em relação ao real. O teste de causalidade também demonstrou que existe uma relação causal entre o Ibovix e o Dólar. A relação possui sentido econômico, pois em um momento de incerteza, os agentes compram opções para fazer *hedge* de posições, o que aumenta o Ibovix, ao mesmo tempo os agentes migram para o Dólar, uma moeda mais estável, buscando se distanciar do risco.

Tabela 19 - Teste de Causalidade de Granger entre o Ibovix e o Dólar (2017-2018)

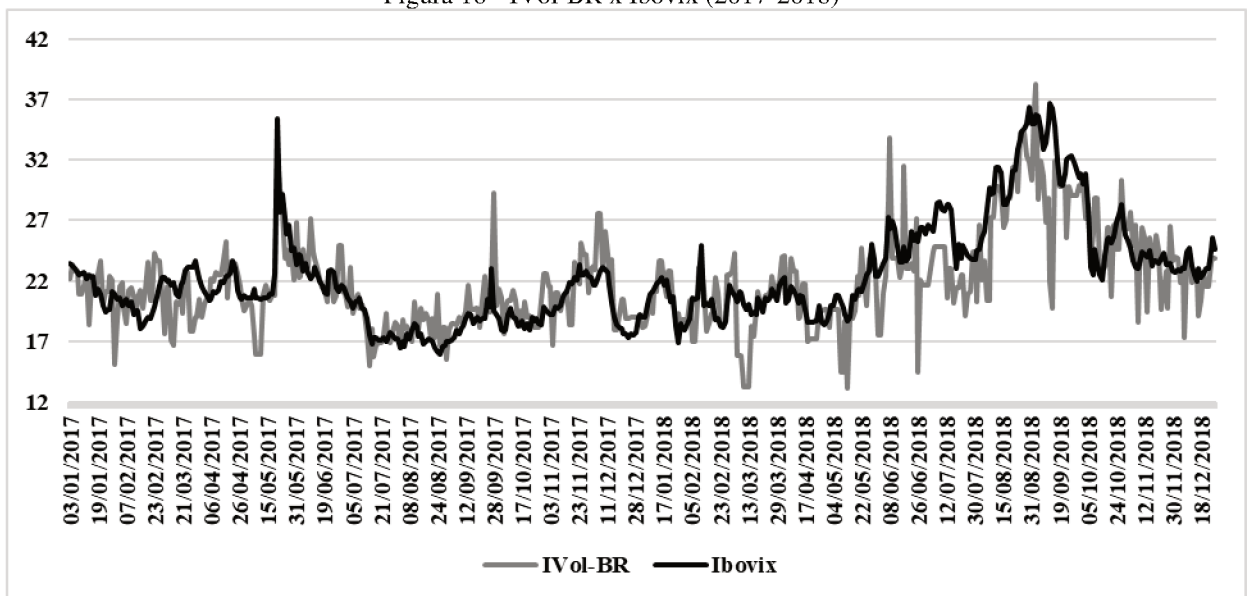
Granger Causality Test				
Model 1: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:2) + Lags(dolar_ts, 1:1)				
Model 2: ibovix_ts ~ Lags(ibovix_ts, 1:1)				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	482			
2	483	-1	40,453	4,683e-10 ***
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''

Fonte: Elaboração Própria

4.4 RELAÇÃO ENTRE IBOVIX E O IVOL-BR

Em ordem de demonstrar a eficiência do índice, foi feita a relação entre o Ibovix e o IVol-BR. Ao colocarmos o gráfico de séries temporais entre ambos os índices já é possível verificar uma semelhança entre ambos. Para embasar essa relação foi realizada uma regressão.

Figura 16 - IVol-BR x Ibovix (2017-2018)



Fonte: Elaboração Própria

A regressão demonstra que existe uma relação entre o IVol-BR e o Ibovix, dessa forma é demonstrado que o Ibovix possui um embasamento de estudos como o feito para o desenvolvimento do índice IVol-BR, dado que ambos possuem um comportamento bastante semelhante.

$$\ln(IVolBR_t/IVolBR_{t-1}) = 0,0001266 + 0,1678123 \ln(Ibovix_t/Ibovix_{t-1}) + \varepsilon$$

Tabela 20 - Regressão entre o Ibovix e o IVol-BR (2017-2018)

Residuals				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0,63235	-0,04944	0,0001	0,05491	0,49163
Coefficients				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0,0001266	0,0055705	0,023	0,9819
ibovix_ts	0,1678123	0,0791807	2,119	0,00346 *
Signific. Codes:				
0 '***'	0,001 '**'	0,01 '*'	0,05 '.'	0,1 ''
Residual standard error: 0,1228 on 484 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0,009195, Adjusted R-squared: 0,007148				
F-statistic: 4.492 on 1 and 484 DF, p-value: 0,03457				

Fonte: Elaboração Própria

5 CONCLUSÃO

Ao realizar o presente trabalho foi possível concluir que o Ibovix possui características e relações que justificam a utilização do mesmo como um ativo do mercado financeiro. Ademais, o Ibovix demonstrou que é significativo quando se trata de um índice de incerteza do mercado, através de sua correlação negativa com o Ibovespa e sua característica de transformar momentos de extremo estresse no mercado em outliers de uma série temporal, tornando mais eficaz a comparação entre diferentes momentos e a mensuração da intensidade de cada circunstância específica.

O índice elaborado também demonstrou que possui relação com diversos índices do mercado, desta forma pode servir como um índice de referência em momentos de estudo de cenários de mercado. Sua relação com variáveis como o CDS e o dólar demonstraram a significância do índice como indicador de cenários de estresse.

É demonstrado também que o índice pode ser útil como ferramenta de previsão, pela sua relação com a volatilidade realizada do índice Ibovespa, tornando-o uma opção viável para a construção de modelos de previsão de risco e de retorno.

Na comparação do Ibovix com o VIX, a relação entre o VIX e o S&P é maior do que o Ibovix com o Ibovespa. Contudo, cabe ressaltar que o trabalho não possuía como foco entrar em detalhes sobre o motivo da diferença de intensidade da relação, porém um dos possíveis motivos para explicar esta diferença é o fato de que o VIX é um índice estabelecido e negociado através de derivativos, enquanto o Ibovix é apenas um índice teórico.

É possível que se utilizado um derivativo do VIX, como o seu índice futuro por exemplo, e um derivativo do Ibovix, os resultados de relação seriam maiores, dado que índices futuros possuem maior influência dos agentes, por serem negociados diretamente no mercado, enquanto o VIX e o Ibovix são índices teóricos que refletem o mercado de maneira indireta.

Portanto, é possível defender que a adição do Ibovix no mercado financeiro brasileiro, mas especificamente na B3, seria proveitoso para os agentes em geral, tendo em vista as diversas características que seriam de grande valia ao mercado financeiro local. Como citado anteriormente, o índice tem características de índice de estresse, previsor de volatilidade realizada e índice de sentimento dos agentes, características que poderiam ser utilizadas em operações de *hedge* ou apostas contra o mercado local por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ASTORINO, Eduardo et al. Variance Premium and Implied Volatility in a Low-Liquidity Option Market. *Revista Brasileira de Economia*, [s.l.], v. 71, n. 1, p.3-28, 2017. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0034-7140.20170001>.
- BATES, David S. Testing Option Pricing Model. In: MANDALA, G. S.; RAO, C. R. **Statistical Methods in Finance**: Handbook of Statistics. Pennsylvania: G.s. Maddala And C. R. Rao, 1995. p. 567-611.
- BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **The Journal Of Political Economy**. Chicago, p. 637-654. jun. 1973. Disponível em: <https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall09/cos323/papers/black_scholes73.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.
- BM&FBOVESPA. **Índice Bovespa (Ibovespa)**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-amplos/indice-bovespa-ibovespa.htm>. Acesso em: 20 maio 2019.
- CBOE EXCHANGE. **White Paper**: Cboe Volatility Index. 2019. Disponível em: <<https://www.cboe.com/micro/vix/vixwhite.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.
- CBOE GLOBAL MARKETS. **Cboe Volatility Index (VIX)**: Index Rules & Methodology. 2018. Disponível em: <<http://www.cboe.com/micro/vix/vix-index-rules-and-methodology.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.
- CHRISTENSEN, Bent Jesper; HANSEN, Charlotte Strunk. New evidence on the implied-realized volatility relation. **The European Journal Of Finance**. 8, p. 187-205. 2002.
- CHRISTENSEN, Bent Jesper; PABHALA, Nagpurnanand. The relation between implied and realized volatility. **The European Journal Of Finance**. 50, p. 125-150. 1998.

CHUNG, San-lin et al. The information content of the S&P 500 index and VIX options on the dynamics of the S&P 500 index. **Journal Of Futures Markets**, [s.l.], v. 31, n. 12, p.1170-1201, 27 maio 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fut.20532>.

DEITRICK, Bob. **Why the VIX Index Is Important to You and the Stock Market**. 2016.

Disponível em:

<http://www.polarisfinanciam.net/pdf_2016/3.1.2016_Why%20The%20Price%20of%20Oil%20and%20The%20VIX%20Rating%20are%20Important.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

HULL, John C.. **Options, Futures and Other Derivatives**. Boston: Prentice Hall, 1989. 863 p.

LEITE, H.P.; SANVICENTE, A.Z. **Índice Bovespa: Um Padrão para os Investimentos**. São Paulo: Atlas, 1994.

MORAN, Matthew T.; DASH, Srikant. VIX Futures and Options. **The Journal Of Trading**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.96-105, 30 jun. 2007. Institutional Investor Journals. <http://dx.doi.org/10.3905/jot.2007.688954>.

PIMENTA JUNIOR, Tabajara; HIGUCHI, Rene Hironobu. VARIÁVEIS MACROECONÔMICAS E O IBOVESPA: UM ESTUDO DA RELAÇÃO DE CAUSALIDADE. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 14, n. 60, p.0-0, 02 ago. 2008. Quadrimestral.

SOUZA, Amilcar de. **BOVESPA: UMA ANÁLISE DO DESEMPENHO NO PERÍODO PÓS-REAL**. 2008. 71 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

TARDO, Paulo de; SOUZA, Renato. **Áudio entre Temer e Joesley sem edição**. 2017.

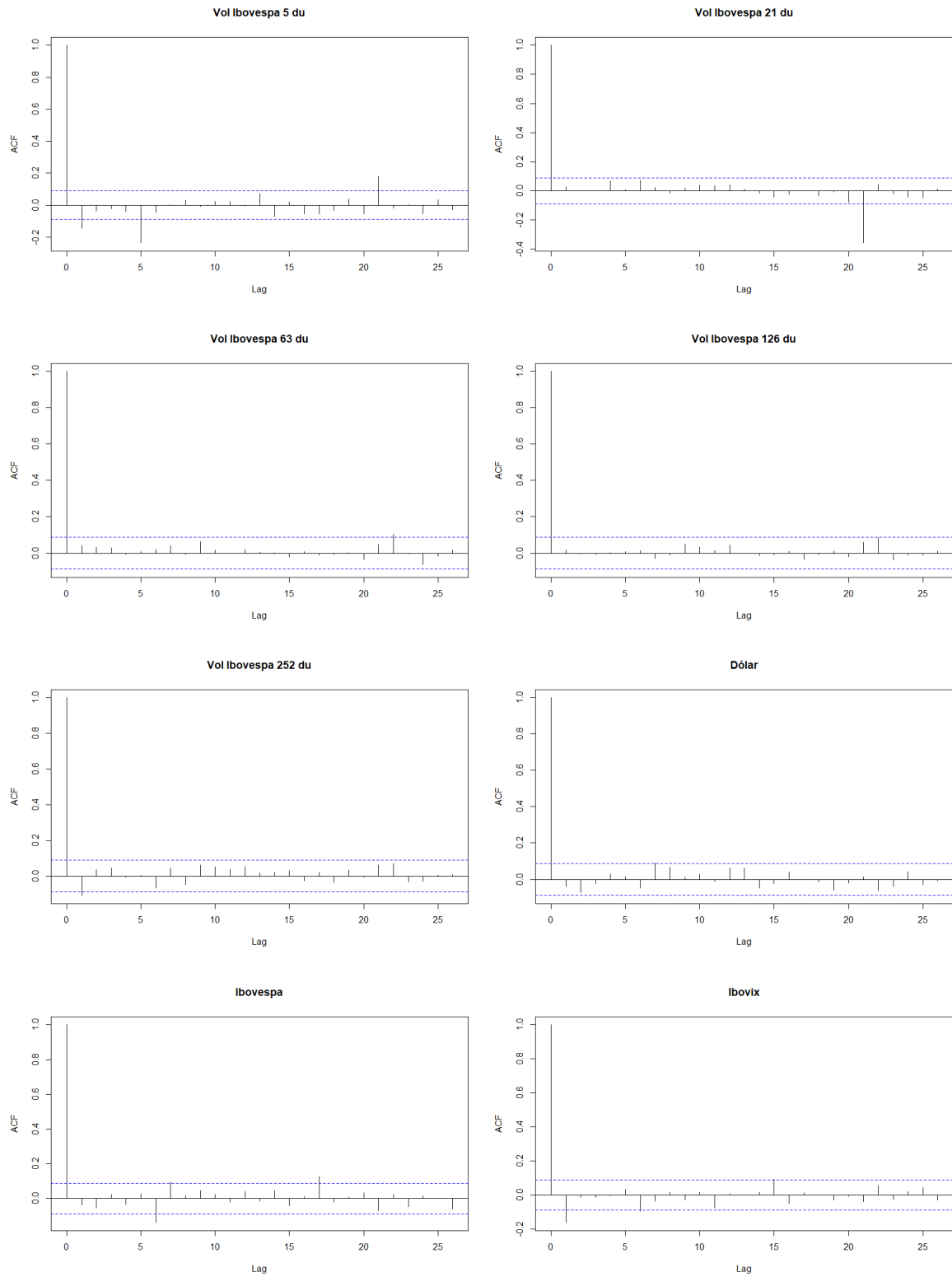
Disponível em:

<<http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/537831/noticia.html?sequence=1>>.

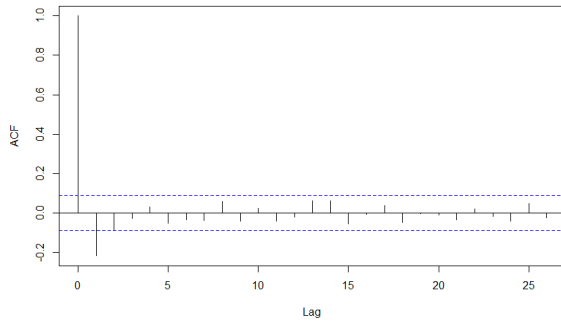
Acesso em: 28 maio 2019.

WHALEY, Robert E.. **Understanding VIX**. 2008. 13 f. Vanderbilt University, Nashville, 2008.

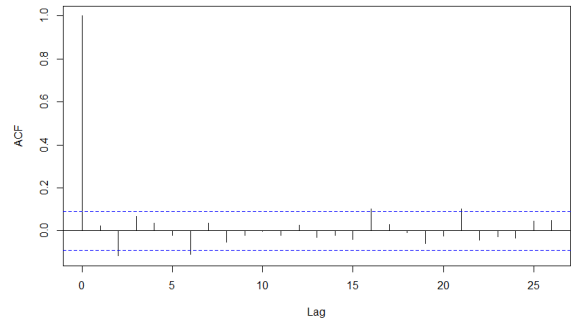
APÊNDICE



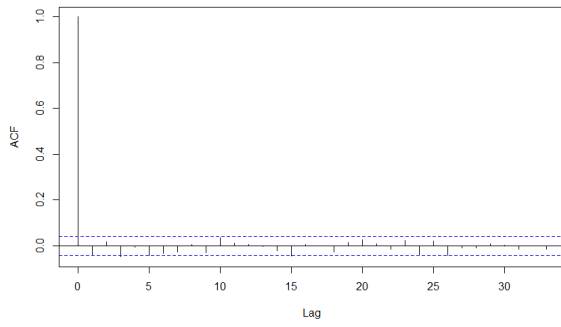
Retorno VIX



Retorno S&P



SPX



VIX

