



## ANÁLISE DA VOLATILIDADE DOS RETORNOS DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL E DO ÍNDICE BOVESPA

**Nathália Etyenne Figueira Silva**  
Mestrado em Administração  
E-mail: nathallyaetyenne@gmail.com

**Sinézio Fernandes Maia**  
Doutorado em Economia  
E-mail: sineziomaia@yahoo.com.br

**Aldo Leonardo Cunha Callado**  
Doutorado em Agronegócio  
E-mail: aldocallado@yahoo.com.br

### RESUMO

A alocação de ativos compreende a decisão mais importante e difícil por parte dos investidores e gestores de carteira. Isso porque, no mercado de ações como um todo há a presença de um elemento no qual é de interesse de todos que é a volatilidade. Dessa forma, a estimação correta da volatilidade pode ser um instrumento fundamental na análise de risco para decisões de investimento e alocação apropriada de recursos. Nessa direção, o objetivo desta pesquisa foi analisar a volatilidade dos retornos do Índice de Sustentabilidade Empresarial – ISE e do Índice Bovespa. O período escolhido para análise foi de janeiro de 2010 a agosto de 2015, totalizando 1389 observações. Os dados foram coletados na base de dados Thopsom Reuters®. Para se chegar ao objetivo da pesquisa foram estimados os modelos ARCH, GARCH, EGARCH e TARARCH. Os resultados mostraram que as séries de retornos dos índices ISE e Ibovespa possuem comportamentos semelhantes, com coeficientes aproximados e que dessa maneira, as características de volatilidade não possuem grandes diferenças. Ambas as séries apresentam baixa reação, alta persistência em choques na volatilidade e foi possível detectar assimetria.

**Palavras-chave:** Índice de Sustentabilidade; Índice Ibovespa; Volatilidade; Risco.

### 1 INTRODUÇÃO

Os primeiros autores a tratarem do conceito de risco na literatura foram Knight e Keynes, ambos em 1921. Para Knight (1921), o risco é considerado uma probabilidade mensurável, e a incerteza, uma situação expressa por valores indeterminados e não quantificáveis. Por outro lado, para Keynes (1921), a incerteza

diz respeito a uma característica do conhecimento dos eventos futuros que não pode ser propagado em termos de uma distribuição de probabilidade quantificável.

Bernoulli (1954) contribuiu com a questão da utilidade, no qual afirma que os indivíduos tentarão maximizá-la e nesse sentido são, normalmente, avessos ao risco por temerem perdê-la. Nessa mesma direção, Neumann e Morgenstern (1947) criaram os axiomas da utilidade esperada, no qual os indivíduos fazem suas escolhas através da: comparabilidade ou completude; transitividade; independência; mensurabilidade; classificação (COPELAND; WESTON; SHASTRI, 2005), esses axiomas refletem as racionalidade dos agentes.

Dessa forma, o que se pretende é a minimização do risco e maximização de retorno. E esse conjunto pode ser alcançado com a boa gestão do risco. Markowitz (1952) propôs uma teoria na qual defende que o risco pode ser minimizado, desde que se invista em mais de um ativo, de forma a criar uma carteira com diferentes combinações, baseando-se na otimização da média e da variância dos ativos. Essa teoria é conhecida como Teoria Moderna da Carteira, e a partir dela é possível obter uma diminuição do risco da carteira a valores menores que o risco individual de seus ativos isolados.

De acordo com Jubert (2008), a alocação de ativos compreende a decisão mais importante e difícil por parte dos investidores e gestores de carteira, e o cálculo de estimação de risco e correlações entre os ativos é de extrema importância, fazendo com que a estimativa realizada influencie no desempenho futuro de uma carteira. Além disso, a boa alocação de ativos faz com que se minimize a volatilidade de ativos específicos, favorecendo dessa forma, a gestão do risco. A volatilidade de um ativo representa as alterações ocorridas nos seus preços em razão de diversos fatores relacionados ao desempenho da empresa emitente e da conjuntura econômica (JUBERT *et al.*, 2008).

É possível que os investidores criem suas próprias carteiras com ativos de diversos setores de forma a minimizar o risco conjunto e conseqüentemente gerenciar com maior eficiência a volatilidade. No caso das Bolsas de Valores, existem os índices nos quais compreendem conjuntos de ações que se enquadram nas exigências que o índice estabelece. Na BM&FBovespa, existem diversos

índices, a saber: Ibovespa, IBrX 100 e IBrX 50 que compreende as 100 ações mais líquidas e as 50 ações mais líquidas da bolsa, além dos índices setoriais, de sustentabilidade e de governança corporativa.

Nessa direção, se faz relevante investigar o comportamento da volatilidade dos retornos da carteira do ISE, uma vez que proporcionará um melhor entendimento desse mercado específico. Os resultados e conclusões desta pesquisa podem servir para investidores, no sentido de auxiliá-los no processo de tomada de decisão no tocante aos investimentos sustentáveis.

Assim, o objetivo desta pesquisa é analisar a volatilidade dos retornos do Índice de Sustentabilidade Empresarial e do índice Ibovespa da BM&FBovespa, afim de entender o comportamento dos papéis destas carteiras.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL - ISE

Segundo a BM&FBovespa (2017), o ISE foi o primeiro índice de sustentabilidade criado na América Latina e busca gerar um ambiente de investimento compatível com as demandas de desenvolvimento sustentável da sociedade contemporânea e estimular a responsabilidade ética das corporações. Além disso, o ISE se apresenta como uma ferramenta para análise comparativa de desempenho das empresas listadas na Bolsa de Valores sob o aspecto da sustentabilidade corporativa, baseada em eficiência econômica, equilíbrio ambiental, justiça social e governança corporativa.

Para a formação da carteira do ISE existem critérios de inclusão, a saber: ser uma das 150 empresas com ações mais negociadas na bolsa nos últimos 12 meses, bem como atender aos critérios estabelecidos pelo conselho deliberativo que englobam tais dimensões: geral, natureza e produto, governança corporativa, econômico-financeira, ambiental, social e mudanças climáticas. Existem também os critérios de exclusão: não atendimento aos critérios estabelecidos; entrar em regime de recuperação judicial ou falência durante o período de vigência da carteira; no caso de oferta pública, resultando em retirada de circulação de parcela significativa de ações do mercado.

A participação de empresas em índices de sustentabilidade pode se configurar como investimento sustentável. Este segundo Sariannidis *et al.* (2010), é o processo que identifica os investimentos das companhia que implementam normas de Responsabilidade Social. Carroll (1999) afirma que a responsabilidade social empresarial deve contemplar várias ações das empresas em prol da sociedade. Para este autor, a sociedade cria expectativas em relação às organizações, expectativas estas que podem ser: econômicas, legais, éticas e discricionárias.

A responsabilidade social empresarial utilizando-se dos investimentos sociais pode ser observada nos índices de sustentabilidade presente em diversas bolsas no mundo, como o *Dow Jones Sustainability Index - DJSI*, o *FTSE4Good Index*, o *Domini 400 Social Index* dentre outros, que tem o propósito de tanto maximizar seus retornos como investir no ambiente e sociedade.

## 2.2 ÍNDICE BOVESPA - IBOVESPA

De acordo com a BM&FBovespa (2017), O Ibovespa é o resultado de uma carteira teórica de ativos. Além disso, é um índice de retorno total que procura refletir não apenas as variações nos preços dos ativos integrantes do índice no tempo, mas também o impacto que a distribuição de proventos por parte das companhias emissoras desses ativos teria no retorno do índice.

Para participar do Índice Ibovespa, alguns critérios de inclusão foram estabelecidos: estar entre os ativos elegíveis que representem em conjunto 85% do somatório total do índice de negociabilidade de 3 carteiras anteriores; ter presença em pregão de 95% no período de vigência das 3 carteiras anteriores; ter participação em termos de volume financeiro maior ou igual a 0,1%, no mercado a vista, no período de vigência das 3 carteiras anteriores; e não ser classificado como “*Penny Stock*”, ou seja, ativos cuja cotação seja inferior a R\$ 1,00.

Além dos critérios para inclusão de uma empresa no Ibovespa, existem também os critérios de exclusão, tais como: deixarem de atender a dois dos critérios de inclusão indicados; estiverem entre os ativos que, em ordem decrescente de índice de negociabilidade, estejam classificados acima dos 90% do total no período de vigência das 3 carteiras anteriores; sejam classificados como “*Penny Stock*”; e

durante a vigência da carteira passem a ser listados em situação especial (recuperação judicial ou extrajudicial, regime especial de administração temporária, intervenção ou qualquer outra hipótese definida pela Bolsa).

### 2.3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Diversos estudos tem buscado entender a volatilidade no mercado acionário e os elementos que a causam. Muitos dizem respeito a retornos de *commodities* em geral, e outros abordam a própria volatilidade de retornos dos índices, que é o que se propõe a investigação desta pesquisa.

Lopes (2006) objetivou analisar a volatilidade, através dos diversos modelos da família GARCH, de três índices de mercados financeiros: Dow Jones, IBovespa e S&P 500. O autor utilizou modelos univariados, bivariados e multivariados, além do teste de causalidade de Granger entre os índices. Os resultados revelaram que o IBovespa é significativamente influenciado pela abertura do Dow Jones e do S&P500, porém essa influencia não ocorre do Ibovespa para o Dow Jones e S&P500. Os modelos GARCH multivariados nesta pesquisa aparentam ser mais eficazes do que os modelos GARCH univariados.

Gaio *et al.* (2007) desenvolveram uma análise empírica da volatilidade dos retornos do índice Bovespa por meio de modelos da classe ARCH. Os autores constataram que o índice Bovespa é susceptível a reações de persistência e assimetria na sua volatilidade, ou seja, as variações dos retornos sofrem impactos diferenciados para boas e más notícias, o que pode ser comprovado pelos modelos GARCH, EGARCH e TARARCH gaussianos.

Jubert *et al.* (2008) desenvolveram uma pesquisa buscando analisar o padrão da volatilidade dos índices de ações Ibovespa, Índice de Energia Elétrica, Índice de Sustentabilidade Empresarial, Índice do Setor Industrial e do Índice de Telecomunicações mercado brasileiro, no período 2006-2007. Para atingir o objetivo utilizaram os modelos ARCG, GARCH, EGARCH e TARARCH. Os modelos estimados evidenciaram que o movimento do mercado no dia anterior influencia a volatilidade corrente em todos os índices. Além disso, Os modelos evidenciaram que os retornos negativos estão mais associados aos aglomerados de volatilidade.

Em 2011, Oliveira e Santos observaram o retorno e o risco dos dois índices de Governança Corporativa, IGC e IGCT da BM&FBOVESPA, tendo como *benchmarking* o IBOVESPA no período compreendido entre os anos de 2007 e 2010. Os autores defenderam a hipótese baseada na literatura de que o IGC e IGCT apresentariam menor volatilidade e desempenho superior ao IBOVESPA. Os resultados apontam que apesar de os índices de governança apresentarem menor volatilidade e melhor desempenho em relação ao Ibovespa, essa evidência não é consistente para todo o período em análise.

Mais recentemente, Opschoor, Van Dijk e Van Der Wel (2014) modelaram o impacto das condições financeiras sobre a volatilidade do mercado de ativos e suas correlações dos retornos dos bancos de depósito dos Estados Unidos entre 1994 a 2011. Os achados sugerem que piores condições financeiras estão associadas tanto com maior volatilidade quanto a maiores correlações entre os retornos das ações, principalmente durante a crise. Ademais, a inclusão do FCI na volatilidade e a modelagem da correlação melhora o resultado do *Value-at-Risk* no curto prazo.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização desta pesquisa utilizou-se a cotação diária de fechamento do Índice de Sustentabilidade Empresarial – ISE e do Ibovespa da BM&FBovespa durante o período de janeiro de 2010 até agosto de 2015 totalizando 1390 observações. A coleta de dados foi realizada na base de dados da Thomson Reuters® para posterior tratamento e estimação.

Para se obter o retorno do ISE utilizou-se a premissa de log-normalidade de modo a que o retorno é calculado pelo logaritmo da divisão do preço no tempo  $t$  pelo preço no tempo  $t-1$ .

Em seguida foram realizados testes para identificar a estacionariedade das séries (se possuem ou não raiz unitária) como o Teste Dickey-Fuller Ampliado (1981) (ADF), o Teste Phillips-Perron (1988) (PP) e o Teste Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS) (1992). Também foi realizado o teste de normalidade Jarque-Bera (1981), para identificar se as séries possuíam distribuição normal.

### 3.1 MODELO ARCH

O modelo *Autoregressive Conditional Heteroskedastic* - ARCH foi introduzido por Engle em 1982. Engle mostra que é possível modelar simultaneamente a média e a variância de uma série. Para isso usa o conceito de variância condicional que pode ser modelada com um termo autoregressivo AR(q). De acordo com Morettin (2006) um modelo ARCH (r) é definido como:

$$X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (9)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \dots + \alpha_r X_{t-r}^2, \quad (10)$$

Onde  $\varepsilon_t$  é i.i.d. (0,1),  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_i \geq 0$ ,  $i > 0$ .

Agora, a equação é estimada em termos do resíduo:

$$\varepsilon_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2, \quad (11)$$

Para eliminar o problema de correlação serial da série estudada, o primeiro passo a ser realizado é o ajustamento de um modelo ARMA, auto regressivo de médias móveis, que é definido por:

$$X_t - \mu = \phi_1(X_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p(X_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_p \varepsilon_{t-p} \quad (12)$$

A ordem do modelo é definida mediante os valores dos critérios de Akaike (AIC) e o Critério de informação de Schwarz (SIC). Ao se comparar dois ou modelos o critério de seleção será dado pelo modelo que apresentar o menor valor de AIC. Esse critério também é utilizado para fazer previsões dentro da amostra, assim como, fora da amostra.

### 3.2 MODELO GARCH

O *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* – GARCH (p,q) foi proposto por Bollerslev em 1986 e é considerado uma generalização do modelo ARCH de Engle (1982), no qual se amplia o conjunto utilizado de informações e se obtém uma ormulção mais parcimoniosa, ou seja, com o menor número de parâmetros (MARTINS, 2005). A equação da variância condicional do modelo GARCH (p,q) poder ser representado como segue:

$$X_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (23)$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^r \alpha_i X_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^s \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (24)$$

Em que  $\varepsilon_t$  é i.i.d. (0,1).  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_i \geq 0$ ,  $\beta_j \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^q (\alpha_i + \beta_i) < 1$ ,  $q = \max(r, s)$ .

A intuição do modelo GARCH é que a persistência dos choques na volatilidade é medida pela soma de  $(\alpha + \beta)$ , quanto mais próximo de 1, maior o tempo que o choque levará para dissipar-se. A estimação dos parâmetros do modelo GARCH é dada pelo método da máxima verossimilhança condicional.

### 3.3 MODELO EGARCH

O modelo *Exponencial Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* – EGARCH foi proposto por Nelson em 1991 e tem a finalidade de capturar assimetrias nas séries temporais. O modelo EGARCH é definido por:

$$r_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (26)$$

$$\ln(h_t) = \alpha_0 + \alpha_1 g(\varepsilon_{t-1}) + \beta_1 \ln(h_{t-1}) \quad (27)$$

Em que  $\varepsilon_t$  são i.i.d. com média zero e  $g$  é a curva de impacto de informações, dada por

$$g(\varepsilon_t) = \theta \varepsilon_t + \gamma \{|\varepsilon_t| - E(|\varepsilon_t|)\} \quad (28)$$

Onde  $\theta$  e  $\gamma$  são parâmetros reais e  $|\varepsilon_t| - E(|\varepsilon_t|)$  é uma sequência de v.a. i.i.d. com média zero, em que  $E\{g(\varepsilon_t)\} = 0$ . O modelo EGARCH é definido como:

$$\ln(h_t) = w + \beta \ln(h_{t-1}^2) + \alpha \left( \frac{|r_{t-1}|}{\sqrt{h_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + \gamma \left( \frac{r_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}^2}} \right) \quad (29)$$



Onde,  $\alpha$  é o coeficiente de reação da volatilidade;  $\beta$  é o coeficiente de persistência da volatilidade; é  $\gamma$  o coeficiente que capta a assimetria da volatilidade.

### 3.4 MODELO TARCH

Uma das principais limitações do modelo GARCH é que o impacto de choques sobre a volatilidade é simétrico: choques positivos e negativos têm o mesmo impacto sobre a variância condicional. Dessa forma, Zakoian desenvolveu em 1994 o modelo *Threshold Autoregressive Conditional Heterocedasticity* – TARCH, pois considerou o fato dos mercados financeiros terem um comportamento assimétrico da volatilidade, ou seja, períodos de declínio nos preços são frequentemente acompanhados por períodos de volatilidade intensa, ao passo que períodos de elevação nos preços são seguidos por um nível de volatilidade mais brando (MARTINS, 2005). A variância condicional do modelo TARCH é dada por:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma_1 d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 \quad (30)$$

Em que  $\sigma_t^2$  é a volatilidade condicional,  $\alpha_0$  o termo constante,  $\alpha_1$  é o coeficiente de reação da volatilidade,  $\beta_1$  é o constante de persistência da volatilidade,  $\gamma$  é o coeficiente que capta a assimetria. Se  $\gamma \neq 0$  há um impacto diferenciado de choques negativos e positivos na volatilidade. Se  $\gamma > 0$  há o denominado “efeito alavancagem”. Se  $\gamma < 0$  o choque negativo aumenta a volatilidade mais que choques positivos.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados utilizados referentes ao fechamento da cotação diária do ISE entre 2010 e 2015 compreende um total de 1389 observações. As estatísticas descritivas da série de fechamento e de retorno serão apresentadas na Tabela 1, bem como seus respectivos gráficos.

Tabela 1: Estatísticas descritivas ISE e IBOVESPA

Medidas	FechamentoISE	RetornoISE	FechamentoIbov	RetornoIbov
<b>Média</b>	2250.163	0.000126	58124	-0.0002562
<b>Mediana</b>	2286.680	-0,000009	56973	-0.0004081
<b>DP</b>	229.5537	0.011079	6787.42	0.0141161
<b>Variância</b>	52694.9	0.000123	46069070	0.0001993
<b>Mínimo</b>	1671.120	-0.082597	44966	-0.0843056
<b>Máximo</b>	2713.790	0.044131	72996	0.0497524

Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados dispostos na Tabela 1 apresentam que a série de preços do ISE tem um valor médio de 2250.16, com desvio padrão de 229,55 e variância de 52694.9, evidenciando que os resultados são dispersos da média para a série analisada. Vale salientar que o índice como carteira teórica é contabilizado por pontos. Já a série de retornos sugerem que os valores ficam em torno de 0. As estatísticas para a série de preços de fechamento do Ibovespa apresentam valor médio de 58124, variância de 46069070 e desvio padrão de 6787.42. Dessa forma, percebe-se que os resultados também são bastante dispersos em torno da média.

Quando observado as estatísticas dos retornos do Ibovespa, confirma-se que os resultados se comportam próximos a 0 como os retornos do ISE. O desvio padrão dos retornos do Ibovespa é um pouco superior ao do ISE, mostrando-se um pouco mais disperso da média, sendo 0.0141161 o desvio padrão do Ibovespa e 0.011079 o desvio padrão do ISE. A Tabela 2 apresenta as medidas de formato e os testes de normalidade.

Tabela 2: Medidas de formato e teste de normalidade

Medidas	FechamentoISE	RetornoISE	FechamentoIbov	RetornoIbov
<b>Assimetria</b>	-0.225722	-0.299280	0.2724825	-0.1145536
<b>Curtose</b>	1.926021	5.719922	-0.95989	1.44373
<b>Jarque-Bera (<math>x^2</math>)</b>	78.54990	448.8928	70.5725	122.0797
<b>Jarque-Bera (p-valor)</b>	0	0	0	0

Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados dispostos na Tabela 2 representam que para a medida de assimetria ambas as séries são assimétricas à esquerda com o valor do coeficiente menor de que 0. Para o caso da medida de curtose, com coeficientes de 1.926021 pra a série de fechamento e 5.719922 para a série de retorno do ISE, as

distribuições são leptocúrticas, as principais características dessa distribuição é que o pico é mais agudo com caudas mais longas e mais pesadas que a distribuição normal.. Em relação à série de fechamento do Ibovespa, a assimetria apresenta-se positiva, já para a série de retornos do Ibovespa, a assimetria é presente de forma negativa. As medidas de curtose para ambas as séries, de fechamento e de retorno do Ibovespa, são consideradas platicúrticas com curtose menor que 3, sendo - 0.95989 para a série de fechamento do Ibovespa e 1.44373 para a série de retorno.

O teste Jarque-Bera, testa a hipótese nula de normalidade, assim, se o p-valor for menor do que 5%  $p < 0,05$  rejeita-se a normalidade. De acordo com o resultado dos testes, para todas as séries rejeita-se a hipótese de normalidade. O próximo passo é a realização do teste de estacionariedade para a série de retorno do ISE e do Ibovespa que serão utilizadas na estimação.

Tabela 3: Testes de Estacionariedade

Variáveis	ADF	PP	KPSS
RetornoISE	0,01	0,01	0,1
RetornoIbov	0,01	0,01	0,1

Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 3 apresenta o teste de estacionariedade. Observa-se que tanto para o método ADF quanto para o PP e KPSS as séries de retornos do ISE e d Ibovespa se mostraram estacionárias, com p-valor 0,01 para ADF e PP e 0,1 para o KPSS. Vale lembrar que a hipótese nula do teste KPSS é de que a série é estacionária, diferente dos testes ADF e PP. Dessa forma, para ambas as séries não há presença de raiz unitária. A seguir apresentam-se os resultados das estimações para quatro modelos da família ARCH: ARCH, GARCH, EGARCH e TARCH.

Tabela 4: modelos ARCH, critérios de seleção e teste LM

<b>RetornoISE</b>				
<b>Modelos</b>	<b>AIC</b>	<b>SIC</b>	<b>LM – test(1)</b>	<b>Prob.</b>
ARCH(1)	-6,18	-6,17	0,750116	0,38
ARCH(2)	-6,20	-6,18	0,666171	0,41
<b>ARCH(3)</b>	<b>-6,21</b>	<b>-6,19</b>	<b>0,0229062</b>	<b>0,86</b>
ARCH(4)	-6,21	-6,18	0,0237009	0,87
<b>RetornoIbov</b>				
ARCH(1)	-5,68	-5,67	0,057205	0,81
<b>ARCH(2)</b>	<b>-5,72</b>	<b>-5,70</b>	<b>0,252189</b>	<b>0,61</b>
ARCH(3)	-5,72	-5,70	0,057840	0,81
ARCH(4)	-5,72	-5,70	0,633779	0,43

Fonte: Elaboração Própria.

Ao observar a Tabela 4, na qual são apresentados os resultados dos critérios de estimação de 4 modelos ARCH para os retornos do ISE e Ibovespa, percebe-se que o modelo que melhor se ajusta a série de retorno do ISE é o ARCH(3) com AIC -6.21 e SIC -6.19 e para a série do Ibovespa o ARCH(2) com AIC -5,72 e SIC -5,70. O teste LM de Breusch-Godfrey foi realizado para analisar a autocorrelação dos resíduos, é possível observar que se aceita a hipótese nula da inexistência de autocorrelação para ambos os modelos.

Os valores dos coeficientes do modelo escolhido para o retorno do ISE estão demonstrados na equação a seguir:

$$h_t = 8,59E - 05 + 0,039796X_{t-1}^2 + 0,114121X_{t-2}^2 + 0,139459X_{t-3}^2$$

Já para a série do retorno do Ibovespa o modelo escolhido apresenta os seguintes coeficientes:

$$h_t = 0,000147 + 0,077291X_{t-1}^2 + 0,176524X_{t-2}^2$$

O modelo ARCH capta a reação a choques, nesse caso a reação a choques de volatilidade para a série de retornos do ISE é 0,2932 representando alta reação, ou seja, a volatilidade da série apresenta picos pontiagudos. A praxe para o coeficiente de reação é aproximadamente igual a 0,20. O modelo ARCH para a série de retornos do Ibovespa apresenta reação de 0,2538, superior a praxe 0,20, também apresentando alta reação, porém inferior ao do ISE. O modelo ARCH não é muito utilizado pelo fato de só captar a reação aos choques e por precisar de muitas defasagens.

## 4.1 RESULTADOS DO MODELO GARCH

Tabela 5: modelos GARCH, critérios de seleção e teste LM

Modelos	RetornoISE			
	AIC	SIC	LM – test(1)	Prob.
<b>GARCH(1,1)</b>	<b>-6,23</b>	<b>-6,22</b>	<b>0,7767</b>	<b>0,37</b>
GARCH(1,2)	-6,23	-6,22	0,059270	0,80
GARCH(2,2)	-6,23	-6,21	0,002494	0,96
GARCH(2,1)	-6,23	-6,21	0,037455	0,84
Modelos	RetornoIbov			
	AIC	SIC	LM – test(1)	Prob.
<b>GARCH(1,1)</b>	<b>-5,75</b>	<b>-5,74</b>	<b>1,011439</b>	<b>0,31</b>
GARCH(1,2)	-5,75	-5,73	0,241549	0,62
GARCH(2,2)	-5,75	-5,73	0,060733	0,80
GARCH(2,1)	-5,75	-5,73	0,014143	0,90

Fonte: Elaboração Própria.

Equação do modelo escolhido para a série RetornoISE:

$$h_t = 5,42E - 06 + 0,075496X_{t-i}^2 + 0,879426h_{t-j}$$

Equação do modelo escolhido para a série RetornoIbov:

$$h_t = 8,92E - 06 + 0,072137X_{t-i}^2 + 0,882936h_{t-j}$$

A Tabela 5 apresenta 4 modelos GARCH estimados para a série de retornos do ISE e 4 modelos estimados para a série de retornos do Ibovespa, o modelo escolhido por ser mais parcimonioso e apresentar menor AIC/SIC foi o GARCH(1,1) para ambas as séries e os coeficientes das equações encontram-se abaixo da tabela. No modelo GARCH o  $\alpha$  representa a componente de reação com valores próximos a 0,2 e  $\beta$  o componente de persistência com valores próximos a 0,8. Neste modelo, a persistência dos choques na volatilidade é medida pela soma de  $(\alpha + \beta)$ , quanto mais próximo de 1, maior o tempo que o choque levará para dissipar-se.

Para o GARCH(1,1) da série de retornos do ISE, o componente de reação foi igual a 0,075496 bastante inferior ao valor de 0,2 mostrando que a série tem baixa reação a choques. O componente de persistência foi igual a 0,879426 em torno do que se esperava (0,8) mostrando que um choque na volatilidade demora um pouco a dissipar-se. A soma de ambos os coeficientes  $(\alpha + \beta)$  totalizou 0,9549, indicando persistência de um choque. O teste LM mostrou que assim como os modelos ARCH, todos os modelos GARCH estimados não possuem autocorrelação.

Para o GARCH(1,1) para a série de retornos do Ibovespa apresentou reação de 0,072137 semelhante a reação da série de retornos do ISE e inferior a praxe de 0,20. Dessa forma, a série apresenta baixa reação. Em relação ao componente de persistência o parâmetro estimado por de 0,882936 mostrando que um choque na volatilidade demora um pouco a dissipar-se. A soma dos coeficientes ( $\alpha + \beta$ ) totalizou 0,9550, indicando persistência de um choque. Observa-se que os resultados do modelo GARCH (1,1) para ambas as séries foram semelhantes, e dessa forma a volatilidade de ambas não possuem diferenças significativas.

#### 4.2 RESULTADOS DO MODELO EGARCH

Tabela 6: modelos EGARCH, critérios de seleção e teste LM

RetornoISE				
Modelos	AIC	SIC	LM – test(1)	Prob.
<b>EGARCH(1,1)</b>	<b>-6,25</b>	<b>-6,23</b>	<b>0,987802</b>	<b>0,32</b>
EGARCH(1,2)	-6,25	-6,23	1,163529	0,28
EGARCH(2,1)	-6,25	-6,23	0,018254	0,89
EGARCH(2,2)	-6,25	-6,23	0,007555	0,93
RetornoIbov				
<b>EGARCH(1,1)</b>	<b>-5,77</b>	<b>-5,76</b>	<b>0,851595</b>	<b>0,35</b>
EGARCH(1,2)	-5,77	-5,75	0,426920	0,51
EGARCH(2,1)	-5,78	-5,75	0,384351	0,53
EGARCH(2,2)	-5,77	-5,75	0,447330	0,50

Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos nos modelos EGARCH estimados e seus respectivos valores de AIC e SIC. O modelo com menor critério de seleção para ambas as séries foi o EGARCH (1,1). Os coeficientes estão apresentados na equação abaixo para a série de retorno do ISE:

$$\ln(h_t) = -0,165144 + 0,988290 \ln(h_{t-1}^2) + 0,0763630 \left( \frac{|r_{t-1}|}{\sqrt{h_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + 0,0876720 \left( \frac{r_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}^2}} \right)$$

Os coeficientes estimados para a série de retorno do Ibovespa foram:

$$\ln(h_t) = -0,413862 + 0,960779 \ln(h_{t-1}^2) + 0,098562 \left( \frac{|r_{t-1}|}{\sqrt{h_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) - 0,105625 \left( \frac{r_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}^2}} \right)$$

O modelo EGARCH além de capturar a reação e a persistência, captura também a assimetria, de modo que notícias positivas têm efeitos diferentes do que notícias negativas. A persistência apresentada no modelo EGARCH(1,1) para a série do ISE foi de 0,98 sendo considerada bastante alta e indicando que um choque na volatilidade demora a dissipar-se. O coeficiente de reação foi 0,076 bastante semelhante ao GARCH(1,1) e o coeficiente de assimetria foi 0,08767, maior que 0, nesse caso assimetria positiva podendo ocorrer o “efeito alavancagem”. Os resultados dos testes LM para todos os modelos aceitou a hipótese nula, concluindo que não há presença de autocorrelação.

O modelo EGARCH para série de retornos do Ibovespa apresentou componente de persistência igual a 0,960779, semelhante à série de retornos do ISE e ao GARCH estimado. Esse parâmetro indica que um choque demora a dissipar-se, persistindo nos dias posteriores. A reação foi de 0,098562, superior a reação apresentada na série de retornos do ISE, porém, ambas inferiores ao valor de praxe aproximado que é 0,20. O componente de assimetria mostrou-se negativo sendo igual a -0,105625, sugerindo que neste caso, as notícias negativas causam maiores situações assimétricas.

#### 4.3 RESULTADOS DO MODELO TARCH

Tabela 7: modelos TARCH, critérios de seleção e teste LM

RetornoISE				
Modelos	AIC	SIC	LM- test(1)	Prob.
<b>TARCH(1,1)</b>	<b>-6,26</b>	<b>-6,24</b>	<b>1,765238</b>	<b>0,18</b>
TARCH(1,2)	-6,26	-6,24	1,3912	0,24
TARCH(2,1)	-6,26	-6,24	0,022727	0,88
TARCH(2,2)	-6,26	-6,23	0,104236	074
RetornoIbov				
<b>TARCH(1,1)</b>	<b>-5,78</b>	<b>-5,76</b>	<b>1,908831</b>	<b>0,17</b>
TARCH(1,2)	-5,78	-5,76	1,518272	0,22
TARCH(2,1)	-5,78	-5,76	0,049429	0,82
TARCH(2,2)	-5,78	-5,75	0,036148	0,85

Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 7 consta os 4 modelos TARCH estimados para as séries de retornos do ISE e do Ibovespa e os valores dos critérios de seleção. O modelo que melhor se ajusta a série de retornos do ISE e do Ibovespa é o TARCH (1,1). Os coeficientes da equação do modelo para a série de retorno do ISE são apresentados abaixo:

$$\sigma_t^2 = 2,23E - 06 + 0,112896\varepsilon_{t-1}^2 + 0,938300\sigma_{t-1}^2 - 0,132012d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$$

Os coeficientes da equação do modelo para a série de retorno do Ibovespa são apresentados abaixo:

$$\sigma_t^2 = 6,94E - 06 - 0,011882\varepsilon_{t-1}^2 + 0,916664\sigma_{t-1}^2 + 0,123492d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$$

A reação captada pelo modelo TARCH (1,1) para a série do ISE foi 0,11289 maior do que a reação captada pelo GARCH e EGARCH. A persistência foi de 0,9383, semelhante aos modelos anteriores e a assimetria foi confirmada no modelo TARCH. Entretanto, com coeficiente negativo de -0,132012. Neste caso,  $\gamma < 0$  e nesse sentido, choques negativos aumentam a volatilidade mais que choques positivos. A inversão dos valores de assimetria entre os modelos EGARCH e TARCH é bastante encontrada na literatura Issler (1999); Gaio *et al.* (2007); Jubert *et al.* (2008); Maciel, Gomide e Ballini (2012), dentre outros. O teste LM demonstrou que não há presença de autocorrelação e a hipótese nula não é rejeitada; esse resultado foi também encontrado para os demais modelos.

O modelo TARCH para a série de retornos apresentou coeficiente de assimetria positivo 0,12, confirmando o a presença de informação assimétrica, possibilitando o efeito da alavancagem. A persistência de um choque foi de 0,916664, embora inferior ao resultado para a série do ISE, ainda é bastante elevado.

#### 4.4 RESUMO DOS PARÂMETROS

Tabela 8: Resumo dos parâmetros - retorno do ISE

Variância	GARCH	EGARCH	TARCH
$\alpha_0$	0,000005	-0,165144	0,000002
$X_{t-1}^2$	0,075496		0,112896



$\sigma_{t-1}^2$	0,879426	0,938300
$d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$		-0,132012
$ r_{t-1} / h_{t-1} $		0,0763630
$h_{t-1}^2/r_{t-1}$		0,0876720
$\ln(\sigma_{t-1}^2)$		0,988290

Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 8 consta o resumo dos parâmetros dos modelos estimados. De maneira geral, a série de retornos do ISE apresenta baixa reação a choques na volatilidade, persistência para o caso de choques e efeitos de assimetrias que podem ser negativos ou positivos. A Tabela 9 resume os parâmetros dos modelos estimados para a série de retornos do Ibovespa.

Tabela 9: Resumo dos parâmetros do retorno do Ibovespa

Variância	GARCH	EGARCH	TARCH
$\alpha_0$	0,0000008	-0,413862	0,000006
$X_{t-1}^2$	0,072137		-0,011882
$\sigma_{t-1}^2$	0,882936		0,916664
$d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$			0,123492
$ r_{t-1} / h_{t-1} $		0,098562	
$h_{t-1}^2/r_{t-1}$		0,0876720	
$\ln(\sigma_{t-1}^2)$		0,988290	

Fonte: Elaboração Própria.

A reação captada pelos modelos, conforme observado na Tabela 9 pode ser considerada baixa, pois é inferior ao valor de praxe de 0,20. A persistência de choques (notícias) é elevada, principalmente nos modelos EGARCH e TARCH, demonstrando que choques de volatilidade no Ibovespa demoram a dissipar-se e podem apresentar efeitos em dias posteriores. Os resultados também indicam presença de assimetrias positivas e negativas, sugerindo informação assimétrica, podendo ocorrer efeito alavancagem. Esses resultados corroboram com os achados de Jubert *et al.* (2007); Oliveira e Santos (2011) e Opschoor, Dijk e Wel (2014).

De acordo com Gaio *et al.* (2007) a persistência e assimetria na volatilidade fornecem sugestões de que a utilização de estratégias no mercado acionário é um importante instrumento para a administração do risco. Nesse sentido, o estudo da volatilidade se torna relevante para se ter conhecimento do comportamento do mercado e para posterior auxílio na tomada de decisão.

#### 4.5 COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Tabela 10: Comparação dos modelos para a série do ISE | Tabela 11: Comparação dos modelos para a série do Ibovespa

Modelos	AIC	SIC
ARCH (3)	-6,21	-6,19
GARCH(1,1)	-6,23	-6,22
EGARCH(1,1)	-6,25	-6,23
<b>TARCH(1,1)</b>	<b>-6,26</b>	<b>-6,24</b>

Fonte: Elaboração Própria.

Modelos	AIC	SIC
ARCH (3)	-5,72	-5,70
GARCH(1,1)	-5,75	-5,74
<b>EGARCH(1,1)</b>	<b>-5,78</b>	<b>-5,76</b>
<b>TARCH(1,1)</b>	<b>-5,78</b>	<b>-5,76</b>

Fonte: Elaboração Própria.

Nas Tabelas 10 e 11 apresentam-se os 4 modelos da família ARCH escolhidos e seus respectivos valores de AIC/SIC. O melhor modelo considerado nesta pesquisa para a série de retornos do ISE é o TARCH(1,1) que tem o menor AIC/SIC. Já para a série de retornos do Ibovespa os modelos que melhor se ajustam a série de retornos é o EGARCH (1,1) E o TARCH(1,1), ambos com menores AIC/BIC. A principal função desses modelos é reconhecer os efeitos assimétricos à volatilidade condicional captados pelo  $\gamma$  (PONTES, 2013), e esses efeitos foram identificados tanto para o TARCH quanto para o EGARCH.

Os resultados dos modelos para as séries de retornos dos índices ISE e Ibovespa mostram que os comportamentos de ambas são semelhantes, com coeficientes aproximados e que dessa maneira, as características de volatilidade não possuem grandes diferenças. Este resultado fornece a intuição de que no período estudado não houve diferenças para investidores que optaram por destinar recursos para o ISE ou para o Ibovespa. Esse resultado pode ser diferente para outras janelas de tempo.

#### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da volatilidade de índices que são considerados carteiras teóricas, se faz relevante pelo fato de refletir de maneira geral o mercado. No caso do índice de sustentabilidade, pode auxiliar na tomada de decisão quanto a adesão de outras empresas e ajuda aos agentes compreenderem o comportamento da carteira do índice. Assim, o objetivo desse artigo foi analisar a volatilidade do Índice de

Sustentabilidade Empresarial da BM&FBovespa através de modelos da família ARCH.

A amostra utilizada foi de janeiro de 2010 até agosto de 2015 com dados diários das cotações de fechamento do ISE e do Ibovespa, totalizando 1389 observações. Os testes de estacionariedade ADF, PP e KPSS realizados mostraram que as séries são estacionárias, por outro lado, o teste de normalidade Jarque-Bera mostrou que as séries, de fechamento e de retorno dos dois índices não apresentam normalidade, sendo consideradas assimétricas.

Outro teste realizado juntamente com a estimação dos modelos foi para verificar a existência ou não de autocorrelação serial dos resíduos, utilizou-se o método ARCH test. Os resultados mostraram que todos os modelos estimados aceitaram a hipótese nula de que não há efeitos ARCH nos resíduos das equações estimadas.

Os modelos estimados ARCH, GARCH, EGARCH e TARCH captaram a presença de baixa reação a choques para a série de retornos do ISE e Ibovespa, além de alta persistência indicando que choques na volatilidade demoram a se dissipar, bem como presença de assimetria positiva no modelo EGARCH para os retornos do ISE, e, assimetria negativa no modelo EGARCH para os retornos do Ibovespa. No caso da assimetria positiva pode ocorrer o efeito alavancagem, enquanto que a assimetria negativa aponta efeitos diferentes com relação a notícias negativas e positivas.

No modelo TARCH escolhido, a série do ISE apresentou assimetria negativa, indicando que notícias negativas impactam mais do que notícias positivas. E no TARCH para a série do Ibovespa apresentou assimetria positiva, ou seja, esses resultados são contrários aos resultados dos modelos EGARCH estimados. Ao final, comparando-se os modelos, tem-se que o modelo TARCH (1,1) é o que melhor se ajusta ao comportamento da série de retornos do ISE e os modelos EGARCH(1,1) e TARCH(1,1) são os que melhor se ajustam a série de retornos do Ibovespa.

Para pesquisas futuras sugere-se o uso de outros modelos de volatilidade da família GARCH, além da utilização de outros índices financeiros, nacionais e



internacionais, podendo também se identificado a presença de causalidade ou transmissão de um índice para outro.

## REFERENCIAS

BERA, A. K.; JARQUE, C. M. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals: Monte Carlo evidence. **Economics Letters**, v. 7, n. 4, p. 313-318, 1981.

BERNOULLI, Daniel. Exposition of a new theory on the measurement of risk. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 23-36, 1954.

CARROL, Archie B. Corporate social responsibility: evolution of a definitional construct. **Business and Society**, v. 38, n. 2, p. 268-294, set. 1999.

**Comissão de valores Mobiliários** – CVM. 2015. Disponível em: <[www.cvm.gov.br](http://www.cvm.gov.br)> Acesso em: 26 de dezembro de 2015.

COPELAND, T.E.; WESTON, J. F.; SHASTRI, K. **Financial theory and corporate policy**. 4. Ed. Reading, Addison – Wesley, 2005.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica**, n. 49, p. 1057-1071, 1981

ENGLE, R. F. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. **Econometrica**, v. 50, n. 4, p. 987-1007, 1982.

GAIO, L. E. et al. Análise da volatilidade do índice Bovespa: um estudo empírico utilizando modelos da classe ARCH. **Contextus**, v. 5, n. 1, 2007.

ISSLER, J. V. Estimating and forecasting the volatility of Brazilian finance series using ARCH models. **Brazilian review of econometrics**, v. 19, n. 1, p. 5-56, 1999.

JUBERT, R. W. et al. Um estudo do padrão de volatilidade dos principais índices financeiros do Bovespa: uma aplicação de modelos ARCH. **Contabilidade, Gestão e Governança**, v. 11, n. 1-2, 2009.

KEYNES, John Maynard. **A Treatise on Probability**. London: Macmillan, 1921.

KNIGHT, F. **Risk, uncertainty and profit**. London: Houghton Mifflin, 1921.

KWIATKOWSKI, D. *et al.* Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. **Journal of Econometrics** n. 54, p. 159–178, 1992.

LOPES, D. C. **Análise quantitativa da volatilidade entre os índices Dow Jones, IBovespa e S&P 500**. Dissertação, Rio Grande do Sul, 2006.



MACIEL, L. S.; GOMIDE, F.; BALLINI, R.. An Evolving Fuzzy-GARCH Approach for Financial Volatility Modeling and Forecasting. **Encontro Nat. Econ. ANPEC**, v. 1, p. 1-16, 2012.

MARKOWITZ, H. M. Portfolio Selection, **Journal of Finance** (December).1952.

MARTINS, C. M. F. A volatilidade nos preços futuro do café brasileiro e seus principais elementos causadores. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2005.

MORETTIN, Pedro A. **Econometria Financeira**: Um curso em séries temporais financeiras. Departamento de Estatística - Instituto de Matemática e Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

NELSON, D. Conditional heteroskedasticity in assets returns: a new approach. **Econometrica**, v. 59, n. 2, p. 347-70. 1991.

OLIVEIRA, L. S. S.; SANTOS, D. F. L. Desempenho e Volatilidade dos Índices de Governança Corporativa da BM&FBOVESPA. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade** – Vol. 1, no 2, p.52-64, Set-Dez/2011.

OPSCHOOR, A.; VAN DIJK, D.; VAN DER WEL, M.. Predicting volatility and correlations with Financial Conditions Indexes. **Journal of Empirical Finance**, v. 29, p. 435-447, 2014.

PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, n. 75, p. 335–346, 1988.

PONTES, T. T. S. **Precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&Fbovespa**: um estudo das volatilidades. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Administração. João Pessoa, 2013.

SARIANNIDIS, N. et al. A GARCH Examination of Macroeconomic Effects on US stock market: A Distinction between the total market index and the sustainability index. **European Research Studies**, v. 13, n. 1, p. 129-142, 2010.

ZAKOIAN, J.M. Threshold Heteroskedasticity Models, **Journal of Economic Dynamics and Control**, v.18, p. 931-955,1994.