

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE CONTABILIDADE
E ADMINISTRAÇÃO DE LISBOA



ISCAL

Sobre a Assimetria na Volatilidade dos Exchange Traded Funds SPY e VWO

João Alberto Morais Rodrigues Ferreira da Silva

Lisboa, Dezembro de 2023

VERSÃO DEFINITIVA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE CONTABILIDADE E
ADMINISTRAÇÃO DE LISBOA

Sobre a Assimetria na Volatilidade dos Exchange Traded Funds SPY e VWO

João Alberto Morais Rodrigues Ferreira da Silva

Dissertação submetida ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Análise Financeira, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Sónia Margarida Ricardo Bentes. Dissertação financiada pelo IPL ao abrigo do projeto IPL/IDI&CA2023/RISKFIN_ISCAL.

Constituição do Júri:

Presidente _____ Prof. Especialista Mário Mata

Arguente _____ Prof. Doutora Ana Paula Gama

Vogal _____ Prof. Doutora Sónia Bentes

Lisboa, Dezembro de 2023

Dedico este trabalho a Deus e aos meus queridos pais, Alberto e Graça.

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Sónia Bentes, orientadora desta dissertação, expresso o meu sincero agradecimento pela orientação científica, apoio incansável, partilha generosa de conhecimentos, simpatia, cordialidade e disponibilidade demonstradas ao longo da elaboração deste trabalho, que possibilitaram o desenvolvimento e conclusão bem-sucedida da dissertação do mestrado em análise financeira.

Aos meus familiares e amigos, quero manifestar a minha gratidão pela sua paciência, tolerância e compreensão empática. Especialmente ao meu pai pela motivação, ajuda e estímulo constante ao longo do ano, mas também à minha mãe e irmã pelo apoio incansável, nos momentos de desânimo, estiveram sempre ao meu lado, incentivando-me a prosseguir.

Aos meus colegas do meu primeiro estágio profissional no Millennium BCP, com quem tive o privilégio de conviver, trabalhar e partilhar experiências, quero agradecer pelo incentivo, espírito de entreajuda e simpatia demonstrados ao longo dessa experiência profissional.

Ao IPL o financiamento do projeto IPL/IDI&CA2023/RISKFIN_ISCAL que possibilitou a realização desta dissertação.

Por último, estendo o meu reconhecimento a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta Dissertação de Mestrado. O seu apoio e contribuições foram importantes para o resultado deste trabalho académico.

RESUMO

Esta dissertação aborda a análise da assimetria na volatilidade de *Exchange Traded Funds* (ETFs) nos mercados financeiros. A investigação foca especificamente nos ETFs *SPDR S&P 500 ETF Trust* (SPY) e *Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund* (VWO), explorando a presença de assimetria na volatilidade desses ativos. A investigação fundamenta-se na relevância dos ETFs como uma classe de investimento negociada em bolsas de valores e na importância da volatilidade como um elemento crítico na análise financeira.

A investigação aborda a temática da volatilidade nos mercados financeiros pela aplicação de modelos econométricos EGARCH e GJR-GARCH. A volatilidade de ativos é um indicador crucial para investidores, refletindo as flutuações de variáveis ao longo do tempo, uma vez que sua previsão é essencial para a adoção de estratégias de proteção de investimentos e para a identificação de momentos de incerteza.

Ao explorar a volatilidade no contexto dos ETFs escolhidos, SPY e VWO, esta investigação verifica a presença de assimetria na volatilidade, e verifica que as más notícias têm um impacto mais significativo que as boas notícias. Esta constatação sugere que os efeitos positivos e negativos não possuem a mesma influência sobre a volatilidade e, conseqüentemente, sobre as variações nos retornos dos ativos subjacentes. Ou seja, esta constatação sugere que os efeitos positivos e negativos não possuem influências simétricas na volatilidade.

A metodologia deste estudo baseou-se na aplicação dos modelos EGARCH e GJR-GARCH, que permitem verificar a assimetria na volatilidade dos ETFs analisados. Por meio desses modelos, constatamos que as más notícias desencadeiam um impacto maior na volatilidade em comparação com as boas notícias, corroborando a presença da assimetria na volatilidade.

Palavras-Chave: ETF (Exchange-Traded Fund), Modelo EGARCH, Modelo GJR-GARCH, Assimetria na volatilidade.

ABSTRACT

This dissertation explores the analysis of volatility asymmetry in Exchange Traded Funds (ETFs) within financial markets. The research specifically centers on the ETFs SPDR S&P 500 ETF Trust (SPY) and Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund (VWO), delving into the presence of asymmetry in the volatility of these assets. The investigation is grounded in the relevance of ETFs as an investment class traded on stock exchanges and the critical significance of volatility in financial analysis.

This research addresses the subject of volatility in financial markets, showcasing the application of EGARCH and GJR-GARCH models. Asset volatility stands as a pivotal indicator for investors, mirroring the fluctuations of variables over time, as accurate prediction is essential for adopting hedge strategies and identifying moments of uncertainty.

By exploring volatility within the context of the chosen two ETFs, SPY and VWO, this research underscores the presence of volatility asymmetry. It becomes clear that negative news carries a more substantial impact than positive news. This observation suggests that positive and negative effects do not exert the same influence on volatility and consequently on variations in underlying asset returns. This asymmetry in the effects on volatility presents a fundamental facet of financial dynamics.

The methodology of this study is anchored in the application of EGARCH and GJR-GARCH models, which enable the estimation of volatility asymmetry. Through these models, it is conclusively observed that negative news triggers a greater impact on volatility in comparison to positive news, thereby confirming the presence of volatility asymmetry.

Keywords: *ETF (Exchange-Traded Fund), EGARCH Model, GJR-GARCH Model, Volatility Asymmetry.*

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTO E RELEVÂNCIA DO TEMA PROPOSTO	1
1.2 OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO	2
1.3 METODOLOGIA	3
CAPÍTULO 2. CONCEITOS DE ENQUADRAMENTO	5
2.1 ETFs	5
2.1.1 Definição de ETF.....	6
2.1.2 História dos ETFs	7
2.1.3 Diferenças entre ETFs e Mutual Funds	9
2.2 DEFINIÇÃO DE VOLATILIDADE.....	9
2.3 MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DOS MODELOS DE VOLATILIDADE	10
2.4 CLUSTERS DE VOLATILIDADE	10
2.4.1 Trabalhos Relacionados sobre os Clusters de volatilidade	11
2.5 ASSIMETRIA DE VOLATILIDADE	15
2.5.1 Trabalho Relacionado sobre Assimetria de volatilidade.....	17
2.6 SÍNTESE	20
CAPÍTULO 3. MODELOS DE VOLATILIDADE.....	21
3.1 MODELOS ARCH E GARCH.....	21
3.2 MODELO EGARCH.....	22
3.3 MODELO GJR-GARCH	24
3.4 TRABALHO RELACIONADO	26
CAPÍTULO 4. ANÁLISE EMPÍRICA	33
4.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS	33
4.1.1 ETFs SPY e VWO.....	33
4.1.2 Recolha e Preparação dos Dados.....	34
4.2 ANÁLISE GERAL	35
4.2.1 Análise com base no Preço Ajustado.....	35
4.2.2 Análise com base nas Rendibilidades.....	38
4.3 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS.....	41
4.4 PRESSUPOSTOS PARA APLICAÇÃO DOS MODELOS EGARCH E GJRGARCH	46
4.4.1 Pressuposto da Estacionariedade	46
4.4.2 Pressuposto da Inexistência de Autocorrelação.....	51
4.4.3 Pressuposto da Heterocedasticidade	54
4.5 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS GARCH, EGARCH E GJR-GARCH	54
4.6 SÍNTESE	56
CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
OUTRAS REFERÊNCIAS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de volatilidade (Fonte: Ferreira (2009:352)).....	10
Figura 2 - Assimetria nas "boas notícias" e nas "más notícias"	17
Figura 3 - A simetria na volatilidade.....	17
Figura 4 - Evolução das cotações do SPY no período de 14/06/2016 a 13/06/2023.....	36
Figura 5 - Evolução das cotações do VWO no período de 14/06/2016 a 13/06/2023.	37
Figura 6 - Evolução das rendibilidades do SPY.....	39
Figura 7 – Evolução das rendibilidades do VWO.....	40
Figura 8 - Histograma das rendibilidades do SPY no período 15/06/2006 a 13/06/2023.....	45
Figura 9 - Histograma das rendibilidades do VWO no período 15/06/2006 a 13/06/2023.....	45
Figura 10 - Correlograma das rendibilidades do VWO.	52
Figura 11 - Correlograma das rendibilidades do VWO.	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Designação dos ETFs.....	34
Tabela 2 - Estatística descritiva para as rendibilidades do SPY e VWO.	42
Tabela 3 - Resultados do Teste J-B.....	43
Tabela 4 - Testes de estacionariedade (ou testes de raízes unitárias).....	50
Tabela 5 - Teste de autocorrelação BG aplicado às rendibilidades.....	53
Tabela 6 - Resultados do teste de ARCH-LM.....	54
Tabela 7 - Estimativas dos modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1) para as rendibilidades do SPY.....	55
Tabela 8 - Estimativas dos modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1) para as rendibilidades do VWO.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

AIC: *Akaike Information Criterion*

ADF: *Augmented Dickey Fuller*

AR: *Autoregressive Model*

AR: *Autoregressive*

ARCH: *Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*

ARMA: *Autoregressive Moving Average*

BG: *Breush-Godfrey*

BRIC: *Brasil Rússia Índia China*

CAPM: *Capital Asset Pricing Model*

EGARCH: *Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*

ETFs: *Exchange Traded Funds*

GARCH: *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*

GJR-GARCH: *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*

JB: *Jarque-Bera*

KPPS: *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*

MLE: *Maximum Likelihood Estimator*

MMQ: *Método dos Mínimos Quadrados*

MMV: *Métodos da Máxima Verosimilhança*

OLS: *Ordinary Least Squares*

SIC: *Schwarz Information Criterion*

S&P: *Standard & Poor*

SPY: *SPDR S&P 500 ETF Trust*

TGARCH: *Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*

VWO: *Vanguard FTSE Emerging Markets ETF*

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e Relevância do Tema Proposto

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Análise Financeira do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa (ISCAL) em cumprimento dos requisitos necessários ao grau de Mestre em Análise Financeira.

Propõe-se neste trabalho aprofundar os conhecimentos na área de métodos quantitativos e análise de dados aplicados ao setor financeiro. Pretende-se investigar técnicas para definir e identificar volatilidades dos mercados financeiros com base na análise de séries temporais de ETFs (*Exchange Traded Funds*, ou Fundos de Investimento Cotados) e aplicação de métodos econométricos.

O tema central desta dissertação assume um papel de grande importância, no cenário financeiro atual, destacando-se pela sua relevância e pelo impacto que pode exercer sobre investidores e decisores financeiros. O ponto fulcral desta investigação incide sobre a análise de ETFs, uma classe de investimentos negociada em bolsas de valores de forma semelhante às ações individuais. Os ETFs usam outros índices de ativos subjacentes, com outro tipo de natureza. Os ETFs começaram a ser populares e considerados bons investimentos porque permitem obtenção de rentabilidade mais elevada e custos mais reduzidos quando comparados com investimento em ativos individualmente ou mesmo com fundos de investimento mais tradicionais. Os ETFs considerados no âmbito desta investigação são o SPY e o VWO por serem representativos de diferentes tipos de fundos.

O SPDR S&P 500 ETF Trust (SPY) é um fundo negociado na bolsa de Nova York sob o símbolo *NYSEArca "SPY"*. SPDR é acrónimo para *Standard & Poor's Depositary Receipts*, o antigo nome de ETF. O fundo SPY foi concebido para seguir o índice do mercado de ações S&P 500, e é considerado o maior e mais antigo ETF do mundo.

O *Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund* (VWO) é um fundo que adota uma abordagem de investimento de indexação projetada para acompanhar o desempenho do índice *FTSE Emerging Markets All Cap China A Inclusion*. O VWO investe por amostragem do índice, o que significa que detém uma coleção amplamente diversificada de títulos que no seu conjunto se aproxima do índice em termos de características-chave.

Apesar da relevância inegável dos ETFs, a análise da assimetria é profundamente influenciada pela consideração da volatilidade como um elemento crucial. A volatilidade de um ETF consiste na variação dos preços de um ativo em relação à sua média. A observação frequente de desvios-padrões em séries financeiras de ativos subjacentes, que não se mantêm constantes, ou seja, a heteroscedasticidade nas rendibilidades, motivou diversos investigadores a aprofundarem modelos heterocedásticos. Nesse contexto, a assimetria da volatilidade surge como um fator crítico na compreensão dos mercados financeiros e no apoio a tomadas de decisões fundamentadas. A habilidade de capturar e refletir os efeitos assimétricos gerados pelas boas e más notícias torna-se essencial para uma avaliação precisa da volatilidade dos preços ou rendibilidades, especialmente em ativos altamente sensíveis a eventos e crises globais, como as que ocorreram mais recentemente como a crise do subprime de 2007-2008, ou a crise pandémica de 2020-22.

1.2 Objetivos da investigação

O investimento em ETFs geralmente implica diversificar os ativos subjacentes com objetivo de reduzir o risco sistemático, no entanto, não é controlado o risco específico associado a cada empresa individualmente. Os modelos assimétricos, como EGARCH e GJR-GARCH, têm a capacidade de relevar a assimetria da volatilidade como outros fatores estilizados. Neste contexto, este projeto definiu os seguintes objetivos de investigação.

O primeiro objetivo é realizar uma análise da revisão da literatura de modelos econométricos e de fatores estilizados como clusters de volatilidade e assimetria da volatilidade, com enfoque para a identificação de trabalhos publicados nos últimos 5 anos.

O segundo objetivo deste trabalho é definir, experimentar e avaliar um conjunto de modelos econométricos que permitam identificar clusters de volatilidades para os dois ETFs considerados, SPY e VWO, com base em séries temporais de preços ajustados desses fundos disponíveis no Yahoo Finance.

O terceiro objetivo é estudar e aplicar modelos econométricos para verificar a existência de clusters de volatilidade e de efeitos de assimetria na volatilidade dos ETFs SPY e VWO.

1.3 Metodologia

Com base na revisão da literatura realizada na fase inicial do trabalho, optou-se por seguir uma metodologia baseada numa abordagem quantitativa. A metodologia desenvolvida, foi realizada através de um conjunto de etapas delineadas:

Em primeiro lugar, a etapa da recolha e tratamento de dados, sendo escolhido os preços ajustadas para cada ETF através do recurso ao site *Yahoo finance*. Essa seleção resultou no apuramento das rendibilidades e desvios-padrão com o apoio da ferramenta de software MS-Excel.

Em segundo lugar, dedicou-se à análise da evolução histórica das rendibilidades e preços ajustados para o período em análise (de 2006 a 2023).

Em terceiro lugar, como base nas rendibilidades previamente determinadas realizou-se uma análise descritiva com base na ferramenta MS-Excel, para um melhor entendimento das rendibilidades e da sua distribuição ao longo do período de análise.

Subsequentemente, em quarto lugar, foi elaborado uma série de testes, visando aferir o cumprimento dos pressupostos requeridos pelos modelos tipo GARCH, com os ajustamentos necessários para atingir esse objetivo.

Em quinto lugar, estimou-se os modelos de volatilidade, como GARCH (1,1), TGARCH (1,1) e EGARCH (1,1).

Em sexto lugar, na etapa conclusiva, os resultados foram analisados e validados, e retiraram-se as conclusões do estudo.

CAPÍTULO 2. CONCEITOS DE ENQUADRAMENTO

Neste capítulo apresentam-se os principais conceitos de suporte ao estudo proposto, nomeadamente que abordam os seguintes aspetos: introdução aos ETFs, definição de volatilidade, estimação dos modelos de volatilidade, clusters de volatilidade, e assimetria de volatilidade.

2.1 ETFs

ETFs (*Exchange Traded Funds*) são fundos de investimento negociados em bolsas de valores como se fossem ações. A maioria dos ETFs acompanham um determinado índice, tal como os índices de ações ou de títulos. Os ETFs são considerados bons investimentos porque permitem obtenção de rendibilidade mais elevada e custos mais reduzidos, quando comparados com investimento em ativos individualmente ou mesmo com fundos de investimento. Os ETFs diferenciam-se destes (i.e., dos fundos de investimento) por poderem ser transacionados em bolsas de valores.

Os ETFs são populares nos EUA, mas tem havido um crescente interesse também noutros países. De acordo com a World Federation of Exchanges Annual Statistics, em 2014 havia 6.289 ETFs em todo o mundo, envolvendo cerca de 634 mil milhões USD em ativos. Todavia no início de 2014, cerca de 50% de todos os ETFs do mundo eram negociados no *New York Stock Exchange (NYSE)*. Os ETFs oferecem aos investidores uma oportunidade de comprar a um baixo preço o desempenho de um determinado mercado, setor ou área, também conhecido por *beta*. Apenas os investidores que conseguem superar o *beta* do mercado, alcançando um valor adicional conhecido como *alpha*, podem justificar o pagamento de comissões mais altas aos gestores de ativos. Caso contrário, é uma boa escolha optar por ETFs visto que apresentam comissões mais reduzidas quando comparadas com fundos de investimento.

A maioria dos ETFs são baseados em índices e visam replicar um determinado índice ou *benchmark*. De acordo com a BlackRock, existem ETFs baseados em ações, títulos ou obrigações, *commodities*, câmbios, *specialty* ETFs, *factor* ETFs, ou *sustainable* ETFs.

Os ETF usados nesta investigação são ETFs baseados em ações, nomeadamente: (1) o SPDR S&P 500 ETF Trust (SPY); e (2) o Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund (VWO). Foi escolhido o SPY por ser o ETF mais antigo e o maior fundo que replica o índice S&P 500. Por outro lado, o VWO é um ETF associado maioritariamente a empresas de economias emergentes, como a China e Índia, refletindo um interesse crescente dos investidores por esses mercados emergentes.

2.1.1 Definição de ETF

Os ETFs (*Exchange-Traded Funds*) ou Fundos de Investimento Cotados apresentam várias definições, tais como:

- O Fundo Monetário Internacional (FMI) define ETFs como “fundos de investimento negociados em bolsas de valores”, muitos dos quais rastreiam índices específicos, como o S&P 500 (FMI, 2011, p. 139).
- O Banco do Canadá define ETFs como “fundos de investimento negociados em bolsas de valores” (Foucher & Gray, 2014, p. 37).
- O *CFA Institute* define ETFs como “produtos de investimento híbridos que combinam características de fundos mútuos e ações comuns” (Hill, Nadig, & Hougan, 2015, p. 2).
- A *Investment Company Institute (ICI)* define ETFs como "empresas de investimento... cujas ações são negociadas intra-diariamente em bolsas de valores a preços determinados pelo mercado" (Antoniewicz & Heinrichs, 2014, p. 36)
- A *BlackRock*, a maior gestora de ativos da Europa, define ETFs como “fundos de índice de capital aberto que fornecem transparência diária do portfólio e são negociados em bolsas de valores como ações” (BlackRock, 2011, p. 4).

Adicionalmente, alguns investigadores também têm discutido a definição e conceito de ETF. Por exemplo, Madhavan descreve ETFs como alternativas de investimento que replicam os índices de mercado ou como veículos para os investidores obterem exposições desejadas (Madhavan, 2016, p. 3). Marszk e Lechman (2019) referem que as anteriores definições podem ser denominadas de maneiras diferentes. Além disso apresentam alguns atributos comuns à maioria dos ETFs que inclui: cotação numa bolsa de valores, a elevada frequência de negociação e de fixação de preços, rendimentos ligados a um índice de referência, e a identificação do produto que inclui o ETF.

Bruce (2020) define ETF como uma participação proporcional a um portfólio de títulos (tal como um fundo mútuo), mas que cada um é negociado como uma ação na bolsa. Além disso, um ETF pode acompanhar um índice genérico, como o S&P 500, ou pode conter uma diversidade de diferentes investimentos subjacentes, incluindo ações, *commodities*, títulos, futuros ou uma combinação de investimentos, disponíveis no mercado doméstico, internacional ou uma mistura de ambos. Um ETF pode deter milhares de títulos em diferentes setores ou pode ser indexado a um setor específico, estilo de investimento ou setor.

2.1.2 História dos ETFs

Os ETFs têm uma história consideravelmente curta em relação aos fundos de investimento de capital aberto (*mutual funds*) ou de capital fechado (*closed-end funds*). O primeiro fundo com similaridade ao ETF foi o fundo de investimento do século XVIII nos Países Baixos, que tinha o objetivo de ampliar as possibilidades de investimento para pessoas com recursos limitados. No final século XIX, esses fundos de investimento foram adotados e expandiram-se também nos Estados Unidos. Por exemplo, relativamente aos *mutual funds* modernos, criados nos Estados Unidos em 1924, refere-se o *Massachusetts Investors Trust*.

Todavia, os fundos de investimento de capital fechado (*closed-end funds*) já tinham surgido nos Estados Unidos em 1893. Apesar desses fundos terem tido uma elevada popularidade na década 20 no séc. XX, a falta de regulação adequada contribuiu para o *crash* de 1929 e a sua reputação foi prejudicada. Consequentemente este tipo de fundos perdeu interesse, com transferências para os *mutual funds*. Apenas mais tarde, na década de 80, ressurgem os *closed-end funds*.

Após o *crash* de 1987 (*Black Monday*) foi compreendido que havia necessidade de procurar novos produtos financeiros, cujas características acompanhassem o desempenho dos *benchmarks* de forma passiva, contrariamente à gestão ativa de tentar superá-los. Para essa discussão sobre a melhor abordagem, foi considerado como base o índice do fundo lançado pelo Vanguard Group em 1975 (Bogle, 2016). Adicionalmente, as investigações publicadas por Markowitz (1952, 1959), em “*The modern portfolio theory*”, discutiam um modelo de análise de portfólio com base em rendibilidades, variâncias e covariâncias dos ativos considerados. Para além desse trabalho, é de destacar também o trabalho “*The capital asset pricing model (CAPM)*”, proposto por Sharpe (1964), Lintner (1965, 1969) e Mossin (1966).

Apesar das autoridades regulatórias impedirem as ações listadas nas bolsas de valores de *American Stock Exchange* e *Philadelphia Stock Exchange*, essas ações demonstraram

semelhança com ETFs, no sentido que as suas rendibilidades eram determinadas com base num cabaz de ações. Em 1990, o ETF *Toronto Stock Exchange Index Participation* (TIP) foi lançado pela primeira vez na bolsa do Canadá (*Toronto Stock Exchange*), sendo anos mais tarde foi transformado e convertido em ações do novo fundo, que ainda é negociado como iShares S&P/TSX 60 Index ETF (Gastineau, 2010). Nos Estados Unidos, em 1992, foi lançado o SuperTrust, que combinava as características de fundos mútuos e de fundos de investimento fechados, e apresentava vários atributos comuns dos ETFs. O SuperTrust não teve o sucesso esperado visto que a maturidade do investimento era de 3 anos, e requeria um valor mínimo de investimento mais alto do que o *ETF SPDR S&P 500 Trust* (SPY), também designado por "Spider" (Elton, Gruber, Comer e Li, 2002). O Spider foi lançado em 1993 pela *State Street Global Advisors* na bolsa *American Stock Exchange*, e tornou-se no maior ETF do mundo da atualidade.

Em 1995, a *State Street Global Advisors* lançou o *SPDR S&P MidCap 400 ETF*, sendo o segundo ETF listado nos EUA. Duas empresas financeiras, a Morgan Stanley e o Barclays Global Investors lançaram o *ETF World Equity Benchmark Series* (WEBS), alinhado com os índices de mercados internacionais, estabelecendo ligações entre indústrias de vários países, atualmente designado por *iShares* e que é gerido pela BlackRock.

A partir de 1998 o mercado de ETF continuou a expandir-se com novos tipo de fundos que incluíam a reprodução dos índices de setores industriais (*Select Sector SPDR*), e baseados em métodos quantitativos para obterem rendibilidades acima dos índices de mercado (criados pela PowerShares, em 2002).

Até cerca de 2000, os ETFs eram exclusivamente constituídos por ações, mas posteriormente começam a ser constituídos por outros ativos. O crescimento mais acentuado desses segmentos nos EUA ocorreu com o lançamento de quatro fundos atualmente geridos pela BlackRock do segmento dos títulos em 2002. O desenvolvimento do segmento dos *commodities* foi introduzido pelo ETF: *SPDR Gold Shares* (2004).

Desde 2006, as categorias de ETFs tornaram-se mais complexas, não apenas em termos de classes de ativos rastreados (e.g., câmbio ou imóveis), mas nos métodos de cálculo das rendibilidades em relação aos *benchmarks*. Por exemplo, foram introduzidas novas categorias como: os *geared* (*inverse and leveraged*) e *active funds* (fundos que ofereciam rendibilidades superiores aos *benchmarks*, deixando de ser abordagem passiva). A primeira modificação desta categoria dos *active funds*, foi introduzido como os *exchange-traded*

managed funds (ETMFs), que combinaram características de ETFs na gestão ativa com *mutual funds*. Todavia, os ETMFs tiveram uma curta duração devido à crise financeira global de 2008.

2.1.3 Diferenças entre ETFs e Mutual Funds

Bruce (2020) identificou cinco características específicas para os ETFs: diversificação; baixo custo; negociabilidade; transparência; e eficiência tributária. Os ETFs apresentam algumas semelhanças com os fundos mútuos, tais como: a exposição a quase todos os mercados financeiros e a qualquer tipo de investimento; ambos os fundos podem ser geridos com uma abordagem passiva ou ativa, que produzem uma variedade despesas associadas.

Por outro lado, as suas diferenças devem-se ao facto dos ETFs poderem ser transacionados de forma mais flexível, por exemplo poderem ser emprestados, ou a venda a descoberto, entre outras estratégias dos investidores. Adicionalmente, os ETFs podem ser negociados como uma ação por meio de um corretor, e são negociados ao longo do dia a preços contínuos, refletindo assim numa maior liquidez. Contrariamente, *mutual funds* exigem ordens intra-diárias de negociação, sendo realizados a preços de após o fecho, implicando menor liquidez neste tipo de fundos. Os ETFs oferecem maior transparência já que as *holdings* de ETF são facilmente identificadas, e existe uma transparência diária e facilidade de arbitragem entre um ETF e as *holdings* relacionadas. Esta transparência reflete a ideia de que o valor líquido dos ativos está muito próximo do valor negociado dos ETFs. Ao nível tributário, os ETFs oferecem aos investidores a possibilidade de decidir o momento para gerir as obrigações fiscais no momento da venda do ETF (tal como uma ação), ao contrário dos *mutual funds*, em que é a própria instituição que delibera o momento para distribuir os seus lucros.

2.2 Definição de Volatilidade

Na área das finanças a volatilidade é definida como uma medida de variabilidade do preço de ativos subjacente (e.g., ações, futuros, *commodities*) em relação à sua média durante um determinado período temporal.

Matematicamente, a volatilidade é representada pelo desvio-padrão (σ), uma medida de um desvio anualizado de variação percentual do preço de mercado de dados diários, semanais ou mensais. Esta medida é expressa de forma percentual e caracteriza-se por medir o risco de

posse de um ativo. Isto é, mede a dispersão do rendimento de um ativo durante um determinado período. Conforme ilustrado na Figura 1, se o valor do desvio for elevado, o ativo será mais volátil, e conseqüentemente apresenta maior risco.

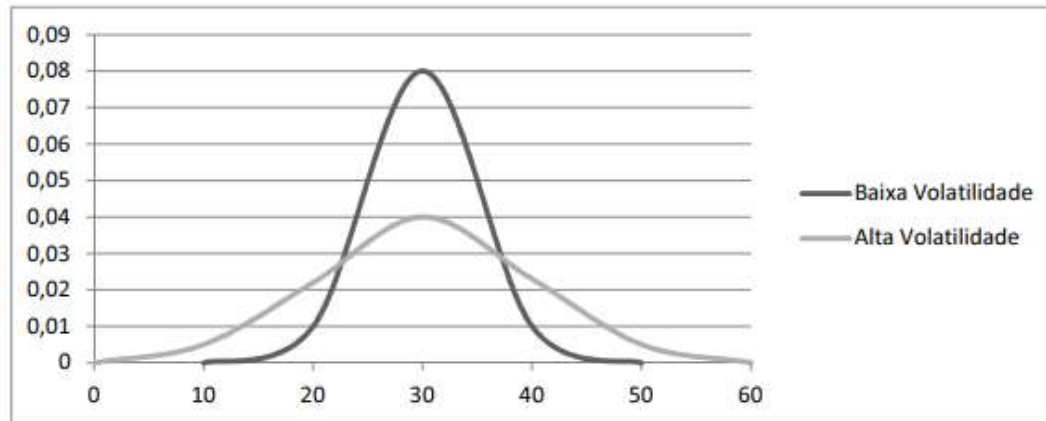


Figura 1 - Níveis de volatilidade (Fonte: Ferreira (2009:352)).

2.3 Métodos de Estimação dos Modelos de Volatilidade

Conforme discutido por Hamilton (1994), a estimação de modelos de volatilidade é um processo que pretende determinar qual o valor dos parâmetros de um modelo matemático a partir dos dados observados. Isto é, é um processo para determinar os valores que possam ser utilizados em modelos estatísticos para descrever uma distribuição de probabilidade ou relações entre variáveis. Este processo de estimação é fundamental para representar de forma mais próxima a realidade e obter previsões mais precisas.

A área da Estatística tem vindo a propor diversos modelos matemáticos, tais como: Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), Máxima Verossimilhança (MLE), ou Mínimos Quadrados Generalizados (GLS). Para diferentes modelos de volatilidade condicional (e.g., ARCH, GARCH, EGARCH, GJR-GARCH) deverá ser aplicado o método mais adequado para estimar os parâmetros do respetivo modelo. Uma descrição e análise mais detalhada dos modelos de volatilidade são apresentadas mais abaixo no Capítulo 3.

2.4 Clusters de volatilidade

Mandelbrot (1963) referiu que momentos de alta (ou baixa) volatilidade são seguidos por períodos de igual ou ainda mais alta (ou baixa) volatilidade, este fenómeno de persistência

de choques ao longo do tempo é designado por *clusters* de volatilidade (*volatility clustering*, ou agrupamentos de volatilidade). Este fator estilizado caracteriza-se pela existência de algum grau de regularidade nas rendibilidades, portanto assume que as rendibilidades são independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.).

Fama (1965) sugeriu que a provável existência de *clusters* de volatilidade se deve à capacidade dos investidores em avaliarem novas informações que chegam ao mercado, que geralmente não são avaliadas com boa precisão. Em períodos de choque do mercado, os investidores estão especialmente sensíveis a novas informações e, conseqüentemente, existe um aumento de volatilidade, criando-se uma reação adicional nos mercados.

Ding, Granger e Engle (1993) referiram que quando os mercados são eficientes, a chegada de nova informação afetará os preços dos ativos. No entanto, se essas informações chegarem de forma parcial ou em grupos, os retornos podem não depender necessariamente das rendibilidades anteriores, portanto, não implicam que estes estejam correlacionados.

Cont (2007) referiu que as rendibilidades não são correlacionadas, e que as rendibilidades em termos absolutos apresentam funções de autocorreção positiva e diminuem lentamente entre alguns minutos a algumas semanas. Isto implica que as rendibilidades não são independentes ao longo do tempo, e que essas dependências tornam o modelo não linear. Deste modo, são aplicados modelos de variância condicional heterocedástica (ARCH, GARCH, entre outros modelos) baseados no modelo de *Tempered Stable Distributions* de Kim et al. (2008), que apareceram na literatura financeira para lidar com os clusters de volatilidade. Estes modelos têm a vantagem de capturar dinâmicas não lineares. Por outro lado, (Bordignon et al. (2007) admite que esses modelos não devem ser aplicados em dados intra-diários de volatilidade (i.e., intervalos de tempo mais curtos, como minutos ou horas, dentro de um único dia de negociação).

2.4.1 Trabalhos Relacionados sobre os Clusters de volatilidade

Têm sido propostas diferentes abordagens para representar o fenômeno da volatilidade. Por exemplo, Bentes et al. (2012) propuseram o conceito de entropia para estudar a volatilidade nos mercados de ações. A entropia é um conceito da alternativa ao desvio padrão, uma vez que pode capturar a incerteza ou desordem numa série temporal sem colocar restrições sobre a distribuição de probabilidade teórica.

Tseng e Lie (2011) investigaram um conjunto de factos estilizados e introduziram um índice quantitativo para medir os clusters em grandes flutuações, que permitiu extrair mais informações de séries temporais do que nos métodos convencionais anteriores. Concluíram de modo geral que em grandes perdas de rentabilidade tendiam a existir maiores clusters de volatilidade do que em grandes ganhos nos mercados financeiros. Além disso, verificaram que o comportamento de decaimento lento nas funções de autocorrelação das rentabilidades absolutas está diretamente relacionado ao grau de clusters de grandes flutuações de uma série financeiras

Krawiecki et al. (2002) propuseram um modelo microscópico de mercados financeiros baseado em interações entre agentes e dinâmicas de um sistema de *Ising* aleatório no acoplamento global de um banho termal, como objetivo de reproduzir características empíricas como os clusters de volatilidade. Os resultados demonstraram essa similaridade entre uma série temporal de rentabilidades no mercado financeiro comparativamente as explosões caóticas resultantes da emergência de bolhas de atratores ou *on-off intermittency*.

Cont (2007) identifica que os clusters de volatilidade eram explicados pelo comportamento dos participantes no mercado baseado em modelos de agentes e com regras simples. Piskorev et al. (2014) propuseram um índice como indicador de volatilidade de mercado financeiro. Chen et al. (2015) propuseram um modelo baseado na interação de agentes, que procurava investigar a estrutura do setor do mercado e o *cluster* da volatilidade nas bolsas de valores de Nova Iorque e Hong Kong. He et al. (2016) criam um modelo de ativos simples com dois tipos de *traders* (*traders* racionalmente limitados e *traders* de ruído) que tentaram verificar o mecanismo endógeno e a percepção económica sobre os *clusters* da volatilidade. Mais tarde, Schmitt e Westerhoff (2017) propuseram um modelo em que os especuladores seguem um conjunto de regras de negociação das suas ordens e verificaram que o *cluster* de volatilidade surgiu devido ao comportamento de “rebanho” dos especuladores.

O estudo da auto-similaridade é um novo tópico da área das finanças, definida como uma propriedade que é observada numa série por ser composta por padrões similares que se repetem em diferentes escalas nas rentabilidades dos ativos. Oh et al. (2008) aplicaram a Análise de Flutuações Determinísticas (DFA) para explorar padrões de auto-similaridade em séries de preços de alta frequência e verificaram que esta propriedade era observada devido aos *clusters* de volatilidade. No entanto, a deteção de auto-similaridade pode falhar devido à precisão dos algoritmos relacionados com o cálculo do expoente de Hurst. Consequentemente, Trinidad Segovia et al. (2019), definiram uma nova técnica, ao

introduzir um índice de auto-similaridade da série de volatilidade de ativos, permitindo assim detetar os *clusters* de volatilidade. Esse estudo obteve as seguintes conclusões: Em primeiro lugar, que a existência de *clusters* de alta/baixa volatilidade na série faz aumentar expoente de Hurt de volatilidade. Em segundo, que quanto maior é o número de períodos base para o cálculo do expoente de auto-similaridade, mais suave é o gráfico da série de volatilidade e, portanto, maior é o seu expoente, refletindo na maior probabilidade de acontecimentos dos *clusters* de volatilidade.

Mais recentemente, Xue-Zhong et al. (2022), motivados pelos estudos sobre a interação social de negociação de investidores, propuseram um modelo de equilíbrio dinâmico de preços de ativos, incorporando a incerteza de informação e interação social¹ entre investidores. Demonstraram que uma forte interação social terá consequências nas mudanças endógenas (i.e., uma variável que é afetada pelas outras variáveis do modelo, neste caso particular, as escolhas de crenças dos investidores) o que explica o *cluster* de volatilidade e *momentum* numa série temporal na rendibilidade dos ativos. Como tal, o efeito de *cluster* é provocado pela forte interação social, e a escolha da média que pode alternar conforme dois regimes persistentes: O regime da escolha de uma média elevada, caracterizado por um preço do ativo com mais informação conduzindo a uma diminuição da volatilidade na rendibilidade. O regime da escolha de uma média baixa apresenta um preço do ativo com menos informação produzindo assim uma elevada volatilidade nos rendimentos. À medida que a interação social aumenta, a escolha média dos investidores deixa de ser única e estável para se dividir em dois estados estacionários locais² e assimétricos, o que resulta em dois regimes de volatilidade. Quando a interação social é fraca, a escolha dos investidores e as frações populacionais (percentuais de investidores que acreditam em diferentes crenças ou opiniões) correspondentes flutuam em torno de um único estado estacionário. No caso oposto, na interação social forte, existe uma variação regular entre dois estados estacionários³, provocando dois regimes de volatilidade, alta e baixa. Essa alteração constante entre dois regimes de fração populacional e da volatilidade pode produzir

1 Publicações na StockTwits, que é utilizada como uma medida da interação social dos investidores em relação a determinados índices.

2 São alcançados a partir de uma determinada condição inicial e podem ser diferentes dos estados de equilíbrio alcançados a partir de outras condições iniciais

3 Duas condições de equilíbrio diferentes em um sistema dinâmico. Quando o sistema atinge um desses estados, ele permanece nesse estado sem a necessidade de intervenção externa, a menos que ocorra uma perturbação.

simultaneamente erros de avaliação, clusters de volatilidade e *momentum* no curto prazo. As evidências empíricas nestas interações, concluíram que autocorrelação na volatilidade na rentabilidade e a lucratividade de negociação de *momentum* de séries temporais impulsionadas por interações sociais fortes.

Ding, S. et al. (2022) estudaram o impacto da Moeda Digital do Banco Central (CBDC) lançada pelo banco da Inglaterra para pagamentos eletrônicos na cadeia logística de empresas de manufatura. Nesse estudo analisaram que a volatilidade da CBDC pode existir em períodos de turbulências. O objetivo do estudo foi procurar otimizar um plano de produção da cadeia logística de uma empresa de manufatura, tendo por base os *clusters* de volatilidade da CBDC. Consequentemente, esses investigadores aplicaram os modelos GARCH e aprendizagem máquina (*machine learning*; isto é, sistemas que aprendem e melhoram automaticamente a partir de dados, sem terem de ser explicitamente programados) aos dados de CBDC de modo a descrever a volatilidade e comparar o seu desempenho. Nesse estudo, concluíram que o modelo *machine learning* superou significativamente na redução da incerteza da CBDC em relação ao modelo GARCH. A volatilidade da CBDC é um importante desafio, apresentando flutuações elevadas em curtos períodos, provocando problemas nas empresas. Desse modo, esse estudo propôs um plano de produção eficiente com base em baixa volatilidade da CBDC. Neste estudo para analisar a volatilidade da CBDC, foi proposto um plano de produção com as seguintes variáveis principais: Índice Báltico Seco, Bitcoin e taxa de câmbio (Libra Esterlina versus Dólar). Os principais resultados desse estudo foram a possibilidade de ajudar empresas a minimizar os custos operacionais e maximizar a receita, traduzindo uma redução da incerteza do mercado.

Eom, C. et al. (2019) investigaram de forma empírica se a presença de *fat tails* na distribuição da rentabilidade das ações no mercado coreano que pode ser explicada pelos *clusters* de volatilidade. Os investigadores separaram os efeitos de *crashes* do mercado e dos *clusters* de volatilidade por meio de uma classificação em subperíodos através do modelo GARCH, filtrando as rentabilidades. Permitindo assim isolar os efeitos específicos desses eventos para uma melhor compreensão dos resultados. Assim sendo, nesta investigação foi concluído que as caudas de distribuição de rentabilidade são mais acentuadas em períodos recentes do que em relação a períodos anteriores, especialmente em ações de pequenas capitalizações. Além disso, foi investigado que a influência do crash da moeda estrangeira coreana em 1997 e foi aplicado o modelo GARCH tendo em consideração os clusters de volatilidade na rentabilidade. Ao realizar essas análises, verificaram que os *fat tails* nas distribuições de

resíduos persistiam mesmo após consideramos o impacto do crash do mercado. Concluindo que os crashes de mercado e o cluster de volatilidade não são suficientes para explicar completamente a presença de caudas gordas nas distribuições da rendibilidade, logo, ainda não existem fatores que determinam de forma relevante nos *fat tails*.

Tarana Azimova (2022) investigaram o contágio de volatilidade entre os mercados de ações asiáticos em Hong Kong, Malásia, Coreia do Sul, Tailândia e Singapura, mas também com índices setoriais. Esta investigação revelou a presença de *clusters* de volatilidade, com desvio da normalidade nos dados das rendibilidades, autocorrelação, leptocurtose e variação da variância nos resíduos. Para a análise foi utilizado o modelo multivariado EGARCH para capturar a dinâmica assimétrica das séries das rendibilidades e caracterizar os dados financeiros reais. Isto é, analisou a transferência de volatilidade entre diferentes mercados de ações e identificando clusters de volatilidade assimétrica. Este tipo de *clusters* indica que em eventos negativos (e.g. choques de mercado) têm um impacto mais acentuado na volatilidade, o que tem implicações importantes para a gestão de riscos e a construção de portfólios. Essa análise dos *clusters* nos mercados financeiros regionais revelou informações importantes para os investidores e decisores políticos para a tomada de decisão mais informada e eficiente na gestão de riscos e construção de portfólios.

2.5 Assimetria de volatilidade

A presença de assimetria na volatilidade sugere que a volatilidade é maior quando o preço dos ativos tem descidas inesperadas do que no caso de subidas. Portanto, posteriormente aos acontecimentos negativos, no comportamento de algumas sucessões cronológicas financeiras, o risco inerente a uma ação ou carteira de ações é normalmente maior, do que após acontecimentos positivos, verificando-se desta forma a assimetria na volatilidade. Verifica-se uma correlação negativa entre as rendibilidades atuais e a volatilidade futura. Conforme Bentes et al. (2013), podem existir duas possíveis explicações para o impacto assimétrico nas boas e más notícias. A primeira, baseada na teoria da alavancagem de Black (1976) e Christie (1982), afirma que a queda no valor das ações de uma empresa está relacionada com o aumento do rácio da dívida sobre o capital próprio a preços de mercado. A segunda explicação, baseada na teoria do *feedback* de volatilidade (ou prêmio de risco) de Campbell e Hentschel (1992), sugere que as boas notícias são causadas pelas oscilações nas rendibilidades devido ao facto das boas notícias criarem expectativas de maior volatilidade, e

consequentemente, um aumento na taxa de rendibilidade das ações. Com efeito contrário, o aumento da volatilidade causado por notícias negativas provocará um aumento de taxa de rendibilidade exigidas e reduzirá os preços de ações, intensificando o impacto adverso das notícias desfavoráveis.

Black & Cox (1976) foram os primeiros autores a explicarem a assimetria através do efeito da alavancagem financeira. Por outras palavras, estes autores explicaram que a queda no valor das ações individuais dos Estados Unidos (rendibilidade negativa) aumentava o efeito de alavancagem financeira (da dívida total pelo património líquido) que por sua vez, aumentava o risco e a volatilidade das ações.

French et al. (1987), Schwert (1978), Nelson (1991), LeBaron (1992), Campbell e Hentschel (1992) e Glosten et al. (1993) confirmaram e expandiram essa teoria. Esses autores investigaram duas fontes de assimetria que influenciam a variação temporal das rendibilidades dos ativos. Além disso, observaram que, em determinadas circunstâncias, os preços das ações pareciam não refletir adequadamente riscos previsíveis, especialmente em relação a "más notícias". Também notaram que as tendências de rendibilidade tendiam a se desenvolver de maneira mais rápida após a ocorrência de "más notícias" em comparação com "boas notícias".

Para clarificar o efeito da assimetria nas "boas notícias" e nas "más notícias", descrito anteriormente, Ferreira (2009) define μ_1 como a variação dos preços e σ_1 como a volatilidade e considera que σ_1 aumenta (ou diminui) mais quando μ_{t-1} é negativo (i.e., referente a más notícias) do que μ_{t-1} é positivo (i.e., referente a "boas notícias"), logo estamos perante um efeito de alavancagem, como sugerido na Figura 2. O efeito de assimetria coloca uma reformulação aos modelos tradicionais (e.g., CAPM, B&S-73) que assumiam como pressuposto a existência de uma distribuição normal, sendo uma distribuição simétrica, e em que a volatilidade era simétrica independentemente de choques positivos ou negativos, conforme ilustrado na Figura 3.

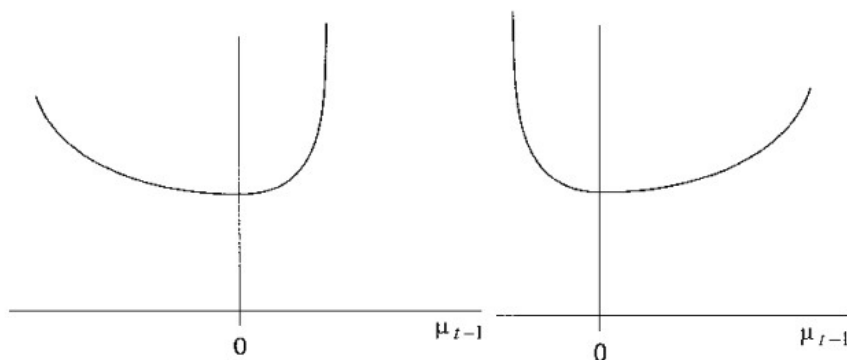


Figura 2 - Assimetria nas "boas notícias" e nas "más notícias".

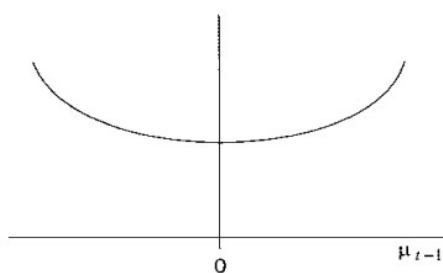


Figura 3 - A simetria na volatilidade.

2.5.1 Trabalho Relacionado sobre Assimetria de volatilidade

Conforme discutido por Bruce (2020), um ETF (Fundo de Investimento Cotado) é uma participação proporcional a um portfólio de títulos (e.g., ações, *commodities*, títulos, futuros ou uma combinação de investimentos), em que cada um é negociado como uma ação numa bolsa, no contexto de mercado doméstico, internacional ou combinação. Os ETFs possibilitam diversas combinações de investimento quer ao nível dos setores de atividade, quer da geografia ou do próprio tipo do investimento. Tem existido alguma procura por investimentos em ETFs por apresentarem uma rendibilidade mais elevada e custos mais reduzidos, quando comparados com investimentos em ativos individualmente ou mesmo em fundos mais tradicionais.

O estudo da volatilidade é um tema que tem ganho notoriedade na área das finanças, e que pode ajudar na tomada de decisões financeiras. A volatilidade é uma medida de variabilidade do preço de ativos subjacentes em relação à sua média durante um determinado período temporal, i.e., mede a dispersão do rendimento de um ativo durante um determinado período.

Mais recentemente têm surgido diversos artigos científicos que identificam os padrões comuns de comportamento encontrados em séries financeiras de diferentes ativos. Esses

padrões, designados por factos estilizados, não são representados por modelos tradicionais (com homocedasticidade) mas por modelos que são analisados no capítulo 3. Os factos estilizados que consideramos nesta investigação são os Clusters de volatilidade e Assimetria na volatilidade.

Clusters de volatilidade referem-se à persistência de choques ao longo do tempo. Mandelbrot (1963) referiu que momentos de alta (ou baixa) volatilidade sejam seguidos por períodos de igual ou ainda mais alta (ou baixa) volatilidade.

Fama (1965) destacou a capacidade dos investidores em avaliar informações novas de forma imprecisa, levando a reações exageradas nos mercados, i.e., causando os clusters de volatilidade. Cont (2007) ressaltou que rendibilidades não são correlacionadas, mas apresentam autocorrelação positiva e diminuição lenta, indicando dependências temporais e não linearidades. Tseng e Lie (2011) introduziram um índice quantitativo para medir clusters em grandes flutuações, relacionando-o ao comportamento de decaimento lento nas funções de autocorrelação das rendibilidades absolutas. Modelos Baseados em Agentes (Cont, Schmitt e Westerhoff) exploraram o comportamento coletivo dos investidores para explicar a formação de clusters de volatilidade. Modelos de Interconexão Social (Xue-Zhong et al., 2022) demonstraram que forte interação social entre investidores pode explicar clusters de volatilidade e *momentum*. Azimova (2022) analisou a transferência assimétrica de volatilidade entre mercados de ações asiáticos, identificando clusters que se acentuam em eventos negativos.

A presença de assimetria na volatilidade implica que a volatilidade é mais pronunciada em resposta a quedas inesperadas nos preços dos ativos do que em caso de aumentos. Isso resulta em uma correlação negativa entre as rendibilidades atuais e a volatilidade futura. A assimetria tem sido explicada por duas abordagens: (1) o efeito de alavancagem, também conhecido como "assimetria", e (2) o efeito do prêmio de risco ou hipótese de feedback de volatilidade.

Os primeiros autores a explicar a assimetria através do efeito de alavancagem foram Black & Cox (1976). Posteriormente, Campbell e Hentschel (1992) e Glosten et al. (1993) validaram essa teoria.

Contudo, a pesquisa de Figlewski & Wang (2000) sobre o efeito de alavancagem nas ações individuais do índice S&P100 revelou anomalias que não se alinhavam com a teoria de alavancagem. Resultados indicaram que a redução da alavancagem financeira quando as

ações tinham rendibilidades positivas provocava efeito mínimo ou inexistente na assimetria de volatilidade. Além disso, mudanças no custo de capital alheio ou no número de ações em circulação não afetavam a volatilidade.

A análise de Hasanhodzic e Andrew (2011) em empresas financiadas apenas por capital próprio, entre 1972 e 2008, constatou uma relação inversa entre os preços das ações e a volatilidade, tanto para empresas alavancadas quanto para as não alavancadas. Isso sugeria que a relação entre preço e volatilidade não era apenas resultado da alavancagem financeira. Outros fatores, como expectativas de rentabilidade variáveis ao longo do tempo, restrições de alavancagem, efeitos de feedback e condições de mercado, bem como o comportamento dos investidores e percepções enviesadas de risco, também desempenhavam papéis importantes

A atenção dos investidores desempenha um papel central na volatilidade do mercado, como demonstrado por Andrei e Hasler (2014). Quando os investidores estão atentos às notícias, as informações são rapidamente refletidas nos preços. Em contraste, menor atenção leva a uma descoberta gradual dos preços devido à aprendizagem mais lenta das incertezas passadas. Dzieliński et al. (2018) analisaram a relação entre assimetria de volatilidade e atenção dos investidores, destacando que a assimetria de atenção e diferenças de opinião influenciam a volatilidade assimétrica. Observaram também que o impacto da atenção é mais notável em ações com menor participação institucional e maior volatilidade idiossincrática. Por sua vez, Chen et al. (2020) desenvolveram um indicador para medir a atenção assimétrica de pequenos investidores em relação à volatilidade, encontrando uma correlação positiva entre ambos, contradizendo pesquisas anteriores.

Muguto e Muzindutsi (2022) examinaram a volatilidade nos mercados de ações dos BRICS e G7, investigando persistência, reversão à média, relação risco-rendibilidade e assimetria. O estudo visava comparar a eficiência informacional de mercados desenvolvidos e emergentes usando modelos GARCH e dados de 2003 a 2020. Notavelmente, encontraram assimetria de volatilidade com efeitos de alavancagem nos índices do BRICS e G7. De forma surpreendente, os modelos assimétricos foram mais proeminentes nos mercados do G7, em contraste com a expectativa de maior assimetria em mercados emergentes. Surpreendentemente, os mercados desenvolvidos apresentaram maior assimetria, atribuída a processamento de informações deficientes.

Mais recentemente, em termos da previsão da assimetria de volatilidade, diversas investigações foram elaboradas nesse sentido, tais como as referidas de seguida.

Fang et al. (2018) propuseram o modelo GARCH-MIDAS, melhorando a previsão de volatilidade com componentes de curto e longo prazo. A abordagem foi aplicada a diversos ativos, incluindo emissões de carbono. Maki et al. (2021) introduziram assimetria em modelos de previsão de volatilidade, destacando o efeito de alavancagem e a importância da identificação da assimetria. Saltos assimétricos tiveram impacto limitado na previsão. Suleman et al. (2021) analisaram a interligação de volatilidade entre o DJIM, petróleo Brent, ouro e prata. Destacaram assimetria no contágio de volatilidade, com o DJIM transmitindo choques negativos aos outros mercados. Wenqi (2022) melhorou a avaliação das transmissões de volatilidade, usando o índice Diebold-Yilmaz e um novo índice assimétrico. Mercados globais mostraram interligação, especialmente durante crises, e a assimetria na volatilidade influenciou a interação entre os mercados. Lu Wang et al. (2022) focaram na volatilidade do mercado de ações de novas energias na China, destacando a eficácia do modelo REGARCH-MIDAS em previsões. A inclusão do efeito assimétrico melhorou a precisão da previsão. Sheng Cheng et al. (2023) analisaram a relação entre *commodities* e ações setoriais chinesas, focando na assimetria e conectividade variável ao longo do tempo. Identificaram assimetria, maior contágio durante choques inesperados e efeitos estáveis do ouro como ativo de refúgio.

2.6 Síntese

Este capítulo apresenta o enquadramento teórico da presente investigação, tendo sido introduzido os conceitos e as questões prementes que atualmente se colocam no contexto do estudo da volatilidade nos mercados financeiros.

Foi efetuado uma contextualização dos ETFs, dando enfoque à sua definição, história e sua importância nos mercados financeiros. De seguida, foi introduzido o conceito de volatilidade e dos modelos de estimação de volatilidade. Por último, foram apresentados trabalhos científicos (com destaque para os últimos 5 anos) em relação a estudos de aplicação dos *clusters* de volatilidade e da assimetria de volatilidade.

CAPÍTULO 3. MODELOS DE VOLATILIDADE

Este capítulo introduz e descreve os modelos de volatilidade, como o GARCH, EGARCH e GJR-GARCH, e apresenta alguns trabalhos relacionados e aplicações desses modelos no contexto da análise da volatilidade dos mercados financeiros.

3.1 Modelos ARCH e GARCH

O comportamento dos ativos financeiros e de algumas matérias-primas apresentam uma heteroscedasticidade nas rendibilidades, i.e., os desvios-padrões não são constantes ao longo das séries temporais, contrariamente à homocedasticidade. A heteroscedasticidade pode ser dividida em duas formas: condicional (isto é, o desvio-padrão depende das condições do anterior desvio-padrão) e incondicional (não há qualquer grau de dependência passada). Em geral, os ativos financeiros e os seus rendimentos apresentam heteroscedasticidade condicional, desse modo existem períodos que podem ser antecipados (Ferreira, 2005).

Os primeiros modelos propostos de sucessões cronológicas foram utilizados inicialmente para análise descritiva ou para o controlo dinâmico, designados por modelos *autoregressive moving average* (ARMA)⁴, um dos quais o modelo ARIMA⁵ (Box-Jenkins, 1970). Os modelos ARMA foram considerados de fácil utilização e assentavam num conjunto de pressupostos, como por exemplo: uma sucessão cronológica estacionária para a sua média e variância (i.e., a média da série temporal é constante ao longo do tempo); e uma restrição a relações lineares. Contudo esses modelos não conseguiram descrever adequadamente a complexidade de padrões não lineares que ocorrem nos mercados financeiros. Uma das principais críticas é que a maioria das séries temporais econômicas não são estacionárias (Gujarati, 2020), refletindo a sazonalidade, uma tendência, a alteração de volatilidade de um ativo subjacente.

⁴ Modelos autorregressivos e de médias móveis, ARMA(q,p), são modelos que uniram os modelos AR e MA

⁵ Auto-Regressive Integrated Moving Average Model. O modelo tem um conjunto de termos auto-regressivos que correspondem a defasagens da série, como também as e as médias móveis são as defasagens dos erros aleatórios.

Desse modo, têm sido propostos diversos modelos econométricos para explicar a variabilidade da volatilidade em particular no contexto dos mercados financeiros.

Engle (1982) propôs o modelo Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH), que possibilitou a representação da variância de uma série (i.e., para capturar a heteroscedasticidade), a qual decorre de uma função de rendibilidades passadas. No entanto, mais tarde, Bollerslev et al. (1992) discutiu que esse modelo era meramente estatístico e que apresentava limitações, tais como: uma tendência para sobreavaliar os efeitos da persistência nas observações; e a não captura do efeito de alavancagem. Com base no modelo ARCH, Bollerslev (1986) propôs o modelo Generalized Autoregressive Conditional Heterosedastic (GARCH), com intuito de ser eficiente e flexível a mudanças para o cálculo da previsão da volatilidade de ativos financeiros. O modelo GARCH é caracterizado por ter várias similaridades com o modelo ARCH como a função linear dos quadrados dos erros passados. O modelo GARCH foi estendido com base no modelo ARCH com uma função linear dos quadrados das variâncias condicionais passadas, o que permitiu criar uma ordem de atraso (q) grande, melhorando a estimação de importantes parâmetros.

Embora o modelo GARCH tenha vantagens, é considerado pouco adequado nos casos em que é observado um efeito assimétrico e uma instabilidade diferente no caso de “boas” e “más” notícias. Todavia, o surgimento dos modelos assimétricos proporcionou a interpretação e captura de “más” e “boas” notícias de modo mais adequado. Por outras palavras, se a queda de uma rendibilidade for acompanhada por um aumento de instabilidade maior do que a instabilidade causada inicialmente, diz-se que há um efeito de alavancagem (como introduzido no capítulo 2). Nas secções seguintes são abordados estes tipos de modelos assimétricos, o EGARCH e o GJR- GARCH.

3.2 Modelo EGARCH

O modelo EGARCH ou *Exponencial GARCH* é uma extensão ao modelo GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), foi introduzido por Nelson (1991) com objetivo de capturar a influência da assimetria por via do efeito de alavancagem na volatilidade dos retornos financeiros. O EGARCH é um modelo de volatilidade condicional que deteta a assimetria das séries das rendibilidades. Contrariamente ao GARCH, o EGARCH permite que a volatilidade varie de forma não linear em resposta a choques positivos e negativos. Isso é alcançado através do uso de um termo de alavancagem

exponencial na equação de variância condicional. Conforme TSAY (2000), o modelo EGARCH permite que a volatilidade tenha um tempo de resposta mais rápido às rendibilidades positivas, eliminando os efeitos de alavancagem, sem a existência de alguma restrição paramétrica. Este modelo é indicado pela variância condicionada, σ_t^2 e representa uma função assimétrica dos valores passados de μ_t s, ou seja:

$$\ln \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \ln \sigma_{t-1}^2 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left(\frac{|\mu_{t-i}|}{\sigma_{t-i}} \right) + \sum_{i=1}^p \gamma_i \left(\frac{|\mu_{t-i}|}{\sigma_{t-i}} \right), \quad (3.1)$$

Onde,

σ_t^2 é a variância condicionada em t;

α_0 é uma constante;

$\beta_i, \alpha_i, \gamma_i$ são os parâmetros do modelo;

μ_{t-i} é o erro observado em t-i;

σ_{t-i} é o desvio-padrão observado em t-i.

O modelo EGARCH apresenta as seguintes vantagens: Em primeiro lugar, a sua forma logarítmica, que não permite a restrição positiva entre os parâmetros (Dritsaki, 2017). Em segundo lugar, é capaz de capturar com sucesso as mudanças na volatilidade. Isto é, este modelo consegue distinguir os diferentes efeitos das informações positivas e negativas. Na fórmula do modelo, β reflete o grau de flutuação e γ explica a assimetria. Se $\gamma = 0$, significa que o efeito das informações positivas e negativas é simétrico. Se $\gamma \neq 0$, significa que o efeito da informação é assimétrico. E quando γ é estatisticamente significativo, indica que ocorre a assimetria (Lu et al., 2023). Em terceiro lugar, a natureza exponencial do modelo garante que as mudanças externas tenham uma influência mais forte na volatilidade prevista em comparação com o modelo TGARCH (Dritsaki, 2017).

Conforme Domigues Ferreira (2009) refere, a equação anteriormente representada pela variância condicional é uma função exponencial das variáveis de modo a tornar todos os valores em positivos conduzindo a que choque externos inesperados tendem a ter um forte efeito na volatilidade esperada. Quando o parâmetro referente à assimetria (γ) toma um valor diferente de zero, logo o efeito da assimetria é dado como um valor negativo. Isso significa que as “más notícias poderão ter um choque ou impacto diferente na volatilidade futura quando comparadas com as “boas notícias”.

3.3 Modelo GJR-GARCH

O modelo GJR-GARCH, é uma extensão do modelo GARCH proposto por Glosten, Jagannathan e Runkle (1993). O modelo incorpora o parâmetro de assimetria (γ) para detectar o efeito do impacto dos choques negativos e positivos na volatilidade condicional. Ao adicionar um termo da função à equação de variância condicional, o GJR-GARCH permite que a volatilidade condicional varie de forma assimétrica em relação a esses choques. Em particular, choques negativos têm um impacto diferente dos choques positivos na volatilidade condicional. O modelo GJR-GARCH é usado para capturar a assimetria nas rendibilidades, onde os eventos negativos têm um impacto mais acentuado na volatilidade do que os eventos positivos.

Neste modelo é adicionado um parâmetro adicional de alavancagem (I_{t-1}). Essa variável binária, tem como objetivo representar a assimetria entre os impactos positivos e negativos do mercado. E essa variável faz com que um choque negativo no mercado tenha um impacto maior na volatilidade do que um choque positivo no mercado com a mesma amplitude.

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \gamma_i I_{t-i} \varepsilon_{t-i}^2 \quad (3.2)$$

$$I_{t-i} = \begin{cases} 1 & \text{Se } \varepsilon_{t-i} < 0 \\ 0 & \text{Se } \varepsilon_{t-i} \geq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Onde σ_t^2 denota a variância condicional; ω , α e β são parâmetros constantes e para estimação; ε_{t-1}^2 denota os resíduos quadrados defasados (também conhecido por lagged *squared residuals*); I_{t-1} variável binária

O impacto dos choques positivos de mercado é medido pelo parâmetro ω , enquanto os choques negativos são medidos por $\omega + \gamma$. Se o coeficiente de assimetria (γ) for positivo existe o efeito de alavancagem, isto significa que os choques negativos terão um impacto maior na volatilidade condicional do que os choques positivos de mesma magnitude, enquanto um valor negativo de γ indica o contrário. Ali, G. (2013).

O índice funcional (I_{t-1}) que toma valor zero quando ε_{t-1} é positivo e quando tem valor 1 quando ε_{t-1} é negativo. Se o parâmetro $\gamma_i > 0$, então os erros negativos são alavancados, o que significa que as “más notícias” têm um impacto maior do que as boas notícias. Dritsaki(2017) assumiu que no modelo GJR-GARCH, os parâmetros são positivos e a relação $\gamma_i + \alpha_i/2 + \beta_j/2 < 1$ é válida.

Adicionalmente, Dritsaki (2017) afirma que o modelo de GJR-GARCH (1,1) mais popular para estimação σ^2 é determinado pela seguinte fórmula:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_t^2 + \gamma_1 I_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 \quad (3.4)$$

$$I_{t-1} = \begin{cases} 1 & \text{when } \varepsilon_{t-1} < 0 \\ 0 & \text{when } \varepsilon_{t-1} \geq 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

A investigação de Engle e Ng(1993), comparam a resposta da variância condicional a choques em diferentes modelos econométricos. Os resultados mostraram evidências de que o modelo GJR-GARCH se ajusta melhor aos dados das rendibilidades de ações. Isso sugere que a inclusão do componente assimétrico no modelo é importante para capturar de forma mais precisa a dinâmica da volatilidade nos mercados financeiros.

Os modelos GJR-GARCH e TGARCH de Zakoian (1994) são modelos muito semelhantes, Ali (2013) referiu que eles apenas diferem no desvio padrão (para GJR-GARCH) e variância para o (TGARCH), isto é, que TGARCH usa resíduos absolutos enquanto GJR-GARCH usa resíduos quadrados. Os resultados dessa investigação demonstraram que os dois modelos conseguiram obter resultados muito similares para representar este tipo de série temporal.

$$\zeta_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i (|\varepsilon_{t-i}| - \gamma_i \varepsilon_{t-i}) + \sum_{j=1}^q \beta_j \zeta_{t-j}. \quad (3.6)$$

Em síntese, a utilização dos modelos EGARCH e GJR-GARCH é crucial para análise da volatilidade nos mercados financeiros. Os modelos EGARCH e GJR-GARCH superam a limitação de simetria do GARCH ao permitir que a volatilidade varie de forma não linear em resposta a choques positivos e negativos, capturando assimetrias. Segundo Bentes et al. (2013, citando Rabemananjara and Zakoian 1993), no modelo GJR-GARCH, as notícias positivas ($\gamma > 0$) têm um impacto de α , enquanto as notícias negativas ($\gamma < 0$) têm um impacto de $\alpha + \gamma$. Logo a principal vantagem deste modelo, em comparação com o EGARCH, é que os efeitos da volatilidade das inovações positivas em relação às negativas não permanecem fixos ao longo do tempo.

3.4 Trabalho Relacionado

Vários trabalhos têm sido realizados na investigação e aplicação destes modelos econométricos a vários problemas dos mercados financeiros e mesmo em outros domínios.

Chen e Tung (2019) analisaram a assimetria de volatilidade de ETFs na área das Tecnologias Financeiras (FinTech), e utilizaram vários modelos do tipo GARCH. Estes investigadores concluíram que GJR-GARCH e EGARCH podem ser utilizados para investigar a existência do efeito de alavancagem. Adicionalmente, a diferença entre esses dois modelos é que GJR-GARCH consegue distinguir melhor a diferença entre boas e más notícias ao longo do tempo

Noutro estudo, Chen (2023) estimou e previu a volatilidade da rendibilidade S&P 500, utilizando vários modelos tipo GARCH de modo a comparar os seus resultados entre as duas crises financeiras, a crise financeira global de 2008 e a crise financeira derivada da COVID-19. Chen (2023) conclui que a volatilidade durante a crise financeira de 2008 foi relativamente mais persistente em comparação com a crise financeira do COVID-19. Com base nos modelos tipo GARCH demonstrou que a crise financeira COVID-19 teve uma volatilidade muito mais alta em relação à crise de 2008. Tal facto deveu-se à crise financeira COVID-19 ser causada por fatores não financeiros, que muitas vezes provocam flutuações mais acentuadas dos índices. Além disso, Chen concluiu que a crise de 2008 resultou em efeitos de alavancagem maiores medidos pelos modelos assimétricos GARCH, comparativamente ao da crise financeira causada pela pandemia COVID-19. Complementarmente, obteve ainda outras conclusões relevantes: Primeiro, para a avaliação do critério AIC/BIC na estimativa da volatilidade dos mercados, o modelo GJR-GARCH apresentou melhor desempenho relativamente à crise financeira de 2008, enquanto o modelo EGARCH melhor desempenho para a crise financeira da COVID-19. Segundo, em relação à função de perda QLIKE na capacidade de previsão de volatilidade, o modelo GJR-GARCH apresentou um melhor desempenho relativamente à crise financeira de 2008, enquanto o modelo GARCH obteve uma melhor capacidade de previsão da volatilidade relativamente à crise financeira derivada da pandemia COVID-19.

Figlewski & Wang (2000) examinaram o efeito de alavancagem nas ações individuais do índice S&P100, que se referiam à relação entre a rendibilidade das ações e a volatilidade histórica e implícita. A explicação tradicional que o efeito de alavancagem estava relacionado com as alterações da alavancagem financeira (com a alteração da estrutura de capital) nas empresas que influenciavam a volatilidade das ações. Porém, os resultados dessa

investigação contrariaram essa explicação, pois foram observadas anomalias que não alinhavam com a alavancagem das empresas. Primeiro, quando as ações tinham rendibilidades positiva e reduziam a alavancagem financeira, provocaria de forma muito reduzida ou inexistente na assimetria de volatilidade. Segundo, a investigação demonstrou que as alterações do custo capital alheio ou alterações das ações em circulação, não apresentavam nenhum efeito na volatilidade.

Hasanhodzic e Andrew (2011), analisaram uma amostra de empresas financiadas apenas por capital próprio, entre 1972 e 2008. O resultado dessa investigação permitiu verificar que existia uma relação inversa entre os preços de ações e a volatilidade era igualmente forte ou muito forte em relação a empresas alavancadas. Deste modo, isso sugeria que a relação entre o preço e volatilidade não era causada pela alavancagem financeira, todavia os investigadores remetem para outros fatores, como: Expectativas das rendibilidades variáveis no tempo de Pindyck (1984), (French, Schwert e Stambaugh, 1987) e (Campbell e Hentschel, 1992); Restrições de alavancagem e os efeitos de feedback e condições de mercado (Danielsson, Shin e Zigrand, 2009), Comportamento dos investidores e percepções enviesadas de risco enviesadas de risco (Gennaioli e Shleifer, 2010).

Andrei e Hasler (2014) analisaram os mecanismos pelos quais as informações são incorporadas na volatilidade do mercado por meio da atenção dos investidores. Verificaram que quando os investidores prestam mais atenção às notícias, as informações são imediatamente refletidas no valor de mercado. No entanto, quando a atenção é baixa, o preço é descoberto gradualmente porque a aprendizagem das incertezas anteriores das pessoas se torna mais lenta (Andrei e Hasler, 2014, citado por Shuning Chena , Wei, Xu, Xiong, 2020).

Dzieliński et al. (2018) analisaram uma grande amostra de empresas americanas com o objetivo de verificar se a assimetria de volatilidade nas rendibilidades das ações estava positivamente relacionada com a atenção dos investidores e as diferenças de opinião. Isto é, se a assimetria na atenção às “boas” e “más” notícias implicava maior volatilidade após as descidas do preço das ações. Para essa investigação foi utilizado o número de previsões dos analistas que seguem uma determinada empresa para detetar a atenção e a dispersão nas previsões do analista (indicador para as diferenças de opinião). Estes investigadores obtiveram as seguintes conclusões: Primeiro, a atenção e as diferenças de opinião têm efeitos complementares na assimetria da volatilidade. Segundo, o impacto da atenção dos investidores é mais notório em ações com baixa participação institucional (i.e., que apresentam mais investidores individuais ou *retail investors* e alta volatilidade

idiossincrática (medida da volatilidade única de uma ação em relação às outras ações do mercado). Independentemente do efeito tradicional de alavancagem, esta investigação permitiu confirmar que a assimetria da volatilidade é influenciada pela assimetria de atenção (divergência de opiniões).

Chen et al. (2020) propuseram um novo indicador de medição da atenção assimétrica dos *retail investors* (dos pequenos investidores) em relação à volatilidade assimétrica. Para esta investigação foram consideradas publicações ou “*posts*” (de caráter positivo, neutro e negativo) em um quadro de mensagens online do “Chinese A-share market”, entre 2008 e 2020. Os investigadores demonstraram que o indicador para atenção assimétrica é significativo e estava correlacionado positivamente com a assimetria da volatilidade (contrariamente ao estudo e conclusões de Wu (2017)). Por outras palavras, verificaram a chegada de informações negativas do mercado podia induzir uma maior assimetria de volatilidade, que a atenção assimétrica implicava a incorporação de mais fluxos de informações negativas no mercado, provocando uma elevada assimetria na volatilidade. Além disso, os investigadores concluíram que a alavancagem financeira específica das empresas não tem um impacto sólido na atenção assimétrica dos *retails investors* (pequenos investidores), e que contudo o impacto da atenção assimétrica aumenta com os riscos sistemáticos de mercado.

Muguto e Muzindutsi (2022) investigaram a natureza da volatilidade do mercado de ações em termos de persistência, reversão à média, relação risco-rendibilidade e assimetria nos mercados dos BRICS e do G7, com o objetivo de verificarem se os mercados desenvolvidos são mais eficientes em termos de informação do que os mercados emergentes, tendo por base esses fatores estilizados. Para essa análise foram utilizados dados dos índices de mercado das diferentes economias e os modelos GARCH para o período entre 2003 e 2020. Os investigadores obtiveram as seguintes conclusões: foi verificado a presença de assimetria de volatilidade com efeitos de alavancagem em alguns índices do BRICS e em todos os mercados do G7. Segundo, foram nos mercados do G7, que os modelos assimétricos foram mais elevados demonstrando um resultado inesperado, considerando que as assimetrias de volatilidade seriam mais notórias em mercados ineficientes, i.e., nos mercados dos países em desenvolvimento e emergentes. A razão para esses resultados foi as volatilidades estarem associadas a processamento de informação deficiente e as assimetrias de informação serem mais elevadas.

Conforme Maki et al. (2021), a introdução da identificação da assimetria melhorou os modelos de previsão da volatilidade. A assimetria foi definida em torno de três categorias. A primeira é o efeito alavancagem, no qual as rendibilidades negativas passadas aumentam a volatilidade futura (McAleer e Medeiros, 2012) e (Corsi e Renò, 2012). Saltos assimétricos (*Asymmetric Jump*) referem-se a mudanças bruscas e extremas, tanto nas rendibilidades positivas como rendibilidades negativas extremas. A semivariância realizada (RSV) desenvolvida por Barndorff-Nielsen et al. (2010), decompõe a volatilidade realizada em componentes positivos e negativos da rendibilidade de dados intra-diários.

Tal como referido anteriormente, com a introdução de assimetria, e as propriedades assimétricas da volatilidade realizada têm um papel crucial na modelação e previsão da volatilidade (citado Daiki Maki et al. (2021), Louzis et al., 2014; Patton e Sheppard, 2015; Audrino e Hu, 2016; Prokopczuk). No entanto, ainda não era claro qual o tipo de assimetria seria mais importante para a previsão da volatilidade realizada. Todavia o estudo de Maki et al. (2021) permitiu identificar qual dos três tipos de assimetria (efeito de alavancagem, saltos assimétricos e semivariância realizada positiva e negativa (RSV)) tinha mais importância para previsão da volatilidade realizada nas bolsas de futuros. Alguns investigadores utilizaram o modelo HAR (*heterogeneous autoregressive*) para representar esses tipos de assimetria. Esses investigadores concluíram que o efeito de alavancagem e o RSV melhoram o desempenho das previsões da amostra. Já o salto assimétrico não teve um impacto claro na capacidade de previsão. Deste modo, essa análise verificou que o efeito de alavancagem foi o fator mais importante para determinar o desempenho das previsões de volatilidade.

As aplicações de modelos tradicionais tipo GARCH mostraram-se mais limitados. Fang et al., (2018) utilizaram o modelo GARCH-MIDAS (*mixed frequency data sampling*), caracterizado pelo uso de dados de frequências mistas (e.g., dados diários, semanais ou mensais), com a separação das componentes da volatilidade. As componentes foram divididas para a volatilidade de curto prazo (utilizando preços e informações de alta frequência) e para a volatilidade de longo prazo. Com base no modelo GARCH-MIDAS os investigadores demonstraram um desempenho de previsão melhor, que pode aumentar efetivamente a precisão das previsões em relação aos modelos tradicionais. Xiaozhu Guo et al. (2021) demonstraram, com base os modelos GARCH-MIDAS, que a assimetria de curto prazo (utilização dados de alta frequência) e de longo prazo (dados de baixa frequência) têm um efeito substancial na volatilidade dos preços dos ativos, incluindo nas emissões de carbono. Com a inclusão de assimetria, bem como das observações extremas e saltos de informação

(i.e., eventos repentinos e imprevisíveis), foi possível melhorar a precisão das previsões da volatilidade de ativos financeiros. Com a utilização deste modelo (GJR-MIDAS-LAS-LEV) os investigadores argumentaram que a assimetria de curto e de longo prazo, e a alavancagem de longo prazo produziu um melhor desempenho na previsão de volatilidade ao nível de assimetria em comparação com outros modelos que consideram apenas uma dessas características. Para análise de observações extremas, o modelo GARCH-MIDAS-SEX foi o mais eficaz. Quanto aos saltos, o modelo GARCH-MIDAS-JUMP-LJ foi que obteve a melhor precisão. Os investigadores concluíram também que os modelos GARCH-MIDAS-JUMP e GARCH-MIDAS-JUMP-LJ se apresentam com o melhor desempenho de previsão entre todos os modelos avaliados.

Suleman et al. (2021) analisaram a interligação da volatilidade entre o Índice de Mercado Islâmico Dow Jones (DJIM) e os mercados de petróleo Brent, ouro e prata, utilizando dados de alta frequência (eg., com intervalo de cinco minutos). Para a análise da dependência da assimetria de volatilidade associada à volatilidade negativa (semivariância negativa) e positiva (semivariância positiva) nesses mercados foi utilizado a metodologia de Diebold(2016) e Yilmaz(2014). Concluíram, que ao nível assimetria na *spillovers* (transmissão), o DJIM foi identificado como o maior transmissor de choques negativos para outros mercados, evidenciando as assimetrias na transmissão da semi-volatilidade. Isso é explicado pelos efeitos de transmissão da volatilidade são mais acentuados para choques negativos, apoiando a hipótese do efeito de alavancagem. Em segundo, na análise da rede de Conectividade Assimétrica revelou que o DJIM e o Brent impõem volatilidade negativa sobre as volatilidades positivas de outros mercados (DJIM prata, ouro e petróleo Brent), indicando transmissões assimétricas de volatilidade entre esses mercados.

Wenqi (2022) investigou como melhorar a avaliação da assimetria nas *volatility spillovers* (transmissões de volatilidade), e definiu seis índices de *volatility spillovers*. Nessa análise foi utilizado o Diebold-Yilmaz *spillover index* e o novo índice *asymmetric spillover index*. Esse trabalho investigou as transmissões de volatilidade variáveis e a assimetria na transmissão entre EUA, Japão, Alemanha, Reino Unido, França, Itália, Canadá, China, Índia e Brasil na bolsa de ações, utilizando dados de alta frequência, entre 2009 e 2020. A investigadora desenvolveu uma abordagem diferente a outros investigadores ((Segal et al., 2015). Barunik et al. (2015) e Barunik et al. (2016)) para calcular de forma mais precisa *volatility spillovers*. Em vez de utilizar apenas a semivariância como medida de volatilidade, sugeriu combinar a variância realizada e a semivariância realizada para calcular o índice de

assimetria. Nesta modificação abrange não apenas as transmissões dentro das volatilidades favoráveis ou desfavoráveis dos ativos, mas também considera as transmissões entre ambas. Wenqi (2022) conclui que os mercados globais estão bastante interligados, as suas transmissões de volatilidade destes mercados variam no tempo, sendo muito sensível a crises (especificamente, a recessão causada pelo coronavírus) e apresentaram assimetria na volatilidade. Na análise, os mercados desenvolvidos foram os principais transmissores de risco contrariamente aos mercados emergentes, que se apresentam como recetores. Os riscos negativos dominaram os efeitos de contágio financeiro (ou propagação de choques/ crises), em que mercados transmissores de riscos espalharam pelo mercado global. Durante coronavírus, o grau de transmissão de volatilidade foi extremamente elevado, que o grau de volatility spillovers diminuiu quando os mercados financeiros voltaram a períodos normais. Para concluir, nesta investigação existiu uma maior interligação nas bolsas de ações mundiais, mas em países emergentes não existe influência suficiente nos mercados de ações globais.

Lu Wang et al. (2022) analisaram a volatilidade do mercado de ações de novas energias na China. Para o estudo foram utilizados os modelos tradicionais tipo GARCH, como IGARCH, EGARCH e TGARCH, e comparados com o modelo REGARCH-MIDAS, que é capaz de capturar o efeito assimétrico da volatilidade. Além disso, foi introduzido o efeito de alavancagem no modelo REGARCH-MIDAS para capturar características de volatilidade, como assimetrias e alavancagem na rendibilidade do mercado de ações. Os investigadores obtiveram os seguintes resultados: Em termos da previsão de volatilidade, o modelo REGARCH-MIDAS obteve um desempenho superior (com previsões mais precisas) em relação aos outros modelos (modelos tradicionais GARCH e GARCH-MIDAS framework). A principal razão foi a inclusão do efeito assimétrico no modelo REGARCH-MIDAS permitindo uma maior flexibilidade na captura dessas características de volatilidade, adicionalmente com inclusão das informações de alta frequência. Esses resultados foram consistentes em relação às investigações passadas que tinham destacado a importância do efeito assimétrico na previsão da volatilidade no mercado de ações de energia na China. Além disso, o modelo da GARCH-MIDAS apresentou uma precisão de previsão superior em relação aos modelos tradicionais tipo GARCH ignorando as informações em diferentes frequências.

Sheng Cheng et al. (2023) analisaram a volatilidade e detetaram os efeitos de contágio entre os *commodities* e as ações dos setores da China em situações de emergência, como a

pandemia do COVID-19, crise financeira global, a crise da dívida europeia, e a crise do petróleo. Para a análise foi utilizado o modelo GJR-GARCH para estimar a volatilidade histórica do petróleo internacional, ouro e ações do setor chinês. Posteriormente, a volatilidades dos *commodities* foi decomposta em volatilidade negativa e positiva. Adicionalmente, foi aplicada a abordagem TVP-VAR-DY para obter o *connectedness index* (índice de conectividade). Este estudo apresentou as seguintes conclusões: Primeiro, verificou-se a presença de assimetria na volatilidade entre as ações dos setores da China, petróleo e ouro. Segundo, durante os choques inesperados, os níveis de contágio geral e direcional mostraram-se mais fortes. Terceiro, o impacto do valor do petróleo internacional e do ouro nas ações dos setores chineses era heterogêneo, verificando-se uma volatilidade positiva e negativa mais intensa durante esses períodos de crise. Quarto, os efeitos de contágio apresentaram um valor do ouro no mercado mundial mais estável, confirmando que este é um ativo de refúgio dos investidores. Quinto, por último, na análise de contágio dos setores durante o período 2000 a 2022, o maior recetor de risco foi o setor bancário e os principais transmissores foram os setores relacionados com Meio Ambiente, Produtos Químicos Básicos, Computadores, Petroquímica, e os Cuidados de Saúde.

CAPÍTULO 4. ANÁLISE EMPÍRICA

O principal objetivo desta investigação foca-se na verificação da existência de assimetria na volatilidade das rendibilidades dos ETFs SPY e VWO. Nesse sentido, procedeu-se à avaliação pormenorizada das rendibilidades, tendo por base os preços ajustados disponíveis para o período de 15 de junho de 2006 a 13 de junho de 2023.

A análise estatística foi conduzida com o suporte das ferramentas de software MS-Excel e Eviews, utilizando dados provenientes do site Yahoo Finance para os ETFs SPY e VWO. O SPY e o VWO são fundos de investimento negociados em bolsa que englobam uma carteira diversificada de ativos. O SPY acompanha o desempenho do índice S&P 500, representando uma abrangente amostra do mercado de ações dos EUA, enquanto o VWO em ações de mercados emergentes.

Neste capítulo é apresentada a análise empírica do estudo, envolvendo a descrição da amostra dos dados utilizados, dos pressupostos à aplicação dos modelos de heterocedasticidade, e apresentação da estimação dos modelos com os seus resultados e conclusões.

4.1 Descrição dos Dados Utilizados

4.1.1 ETFs SPY e VWO

Conforme introduzido no Capítulo 1, esta investigação considerou os ETFs SPY (*SPDR S&P 500 ETF Trust*) e VWO (*Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund*).

O SPY é um fundo negociado em bolsa que acompanha o desempenho do índice S&P 500, e que oferece aos investidores a exposição às 500 maiores empresas de capital aberto nos Estados Unidos. De acordo com *Yahoo Finance*, em 2023, os setores mais representativos deste ETF eram: Tecnologia (28.78%), Serviços financeiros (12.16%), *Consumer Cyclical* (empresas com um consumo por ciclos) (10.75%), Saúde (13.17%), Serviços de comunicação (8.69%), e Indústria (8.33%).

O VWO é um ETF que acompanha o desempenho do índice *FTSE Emerging Markets All Cap China A Inclusion*. O VWO oferece uma ampla exposição a diferentes setores em mercados emergentes, tais como dos seguintes países: China (35,1%), Taiwan (18,0%), Índia (16,0%), Brasil (5,6%), Arábia Saudita (4,3%), África do Sul (3,7%), México (3,0%), Tailândia (2,9%), Indonésia (2,3%) e Malásia (1,9%) (Dados publicados no VWO, 31 de março de 2023). Em 2023, os setores com maior representação no VWO eram: Serviços financeiros (20.64%), Tecnologia (16.54%), *Consumer Cyclical* (14.01%), Serviços de comunicação (9.66%), e Materiais Básicos (8.63%).

A Tabela 1 resume a identificação dos ETFs considerados e as respectivas datas de início.

Tabela 1 - Designação dos ETFs

Tipo	Exchange Traded Funds	Ticker	Data de início
Benchmark index	SPDR S&P 500 ETF Trust	SPY	janeiro de 1993
Benchmark index	Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund	VWO	10 março de 2006

4.1.2 Recolha e Preparação dos Dados

Os dados dos ETFs SPY e VWO foram obtidos a partir do site Yahoo Finance (www.finance.yahoo.com) relativamente ao período 14 de junho de 2006 a 13 de junho de 2023, correspondente a uma série temporal de 17 anos. Os dados originais corresponderam a 4279 registos de cotações diárias, especificamente sobre o preço de fecho ajustado diário (incluindo ainda os *splits* de dividendos e as mais valias).

Todavia, como o software Eviews (ferramenta utilizada para a aplicação dos testes e modelos econométricos) funciona sobre sequências de 5 dias semanais consecutivos (i.e., sequências de segunda a sexta-feira), foi necessário preparar as séries temporais para considerar os dias de fecho dessas bolsas, em particular os dias feriados. Para esse efeito foi preparado no MS-Excel um mecanismo para introdução desses dias de fecho de bolsa e para cálculo dos respetivos valores de preço de fecho determinados com base na média dos valores do dia anterior(t-1) e dia seguinte(t+1). Por conseguinte, devido a essas restrições da ferramenta Eviews e consequente adição de registos (para os dias úteis fechados nessas bolsas), a versão

final dos dados considerados consiste em duas folhas de ficheiro MS-Excel com, respetivamente, 4434 registos para o SPY e 4434 registos para o VWO.

Por outro lado, importa ressaltar que a análise dos dados considerou as rendibilidades e não os preços ajustados diários de cada ETF. Isso significa que as rendibilidades são estacionárias (como explicado mais abaixo na seção seguinte), sendo um dos pressupostos para a correta aplicação dos modelos GARCH.

4.2 Análise Geral

Apresenta-se nesta seção a análise geral dos dados recolhidos e preparados relativamente aos ETFs SPY e VWO. Essa análise baseia-se na distribuição do preço ajustado e rentabilidades dos respetivos ETFs. Esta análise foi realizada com a ferramenta MS-Excel e sobre os dados referidos na seção anterior.

4.2.1 Análise com base no Preço Ajustado

No contexto da análise financeira a obtenção de dados relevantes e com qualidade é fundamental para uma avaliação precisa do desempenho dos ativos. Quando se trata de calcular a rentabilidade de ativos, como ações, é imperativo considerar fatores que podem impactar os preços de forma apropriada. Esse motivo foi a razão da escolha da propriedade de "preços ajustados" na análise dos dados.

Os preços de mercado das ações são suscetíveis a uma série de eventos corporativos, como pagamento de dividendos, *splits* de ações e fusões, que podem distorcer a representação real do desempenho do ativo ao longo do tempo. Consequentemente, a adoção de "preços ajustados" possibilita contornar essa limitação, refletindo esses eventos, e permite uma perspetiva mais precisa e contextualizada do desempenho.

As figuras seguintes (Figuras 4 e 5) representam os movimentos diários dos preços ajustados, como também as rendibilidades dos ETF SPY e VWO para todo o período da amostra.

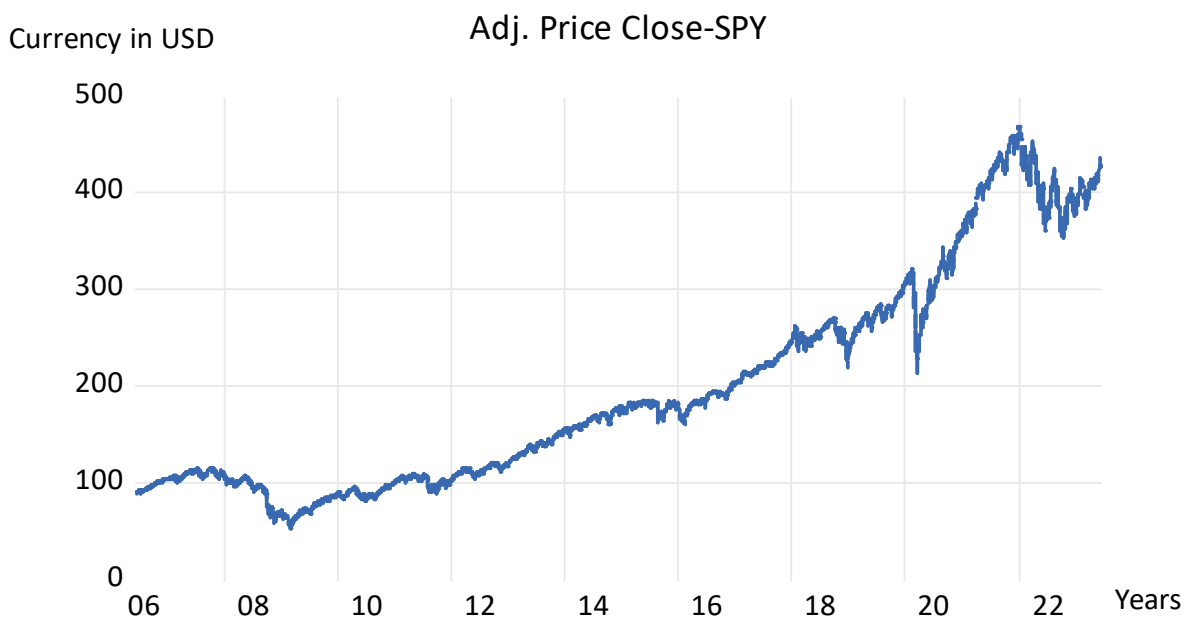


Figura 4 - Evolução das cotações do SPY no período de 14/06/2016 a 13/06/2023.

Na Figura 4 observa-se que os preços ajustados do SPY, entre 2006 e 2023, apresentam algumas flutuações. De facto, durante esse período ocorreram diferentes fases económicas, verificadas pela volatilidade do índice, e por influência de fatores conhecidos.

Por exemplo, no período de 2006 a 2008, verificou-se um crescimento reduzido, mas constante, traduzindo um período de alguma expansão económica. Todavia, por influência da crise do “*Subprime mortgage*” que ocorreu entre 2007 e 2008, traduzida por uma mudança abrupta no gráfico, e explicada pela súbita perda de confiança do mercado e todo um conjunto de efeitos em cascata.

A recuperação da crise financeira de 2008, ocorre entre 2009 e 2010, caracterizada por políticas de estímulo económico e intervenções governamentais, apesar dos investidores apresentarem maior aversão ao risco.

No período de 2011 a 2015 o gráfico apresenta uma série de pequenas oscilações, mas mantém uma trajetória de crescimento. Nesse período ocorreu a crise da dívida soberana na Europa, caracterizado por preocupações e instabilidade sobre o crescimento económico global, mas ainda assim com pouco impacto no SPY.

Mais recentemente, a partir de 2020, a pandemia da COVID-19 desencadeou uma queda acentuada e rápida nos preços do SPY. O crash de março desse ano foi tão acentuado que influenciou outros mercados, representando um choque económico global. Todavia, devido

às medidas de emergência tomadas então pelos governos e bancos centrais, assinala-se uma boa resposta dos mercados, representada no gráfico como uma melhoria do valor do SPY.

Para concluir, através do gráfico dos preços ajustados do SPY, entre 2006 e 2023, verificam-se alguns movimentos ascendentes e descendentes, apresentando este ETF uma tendência geral de subida apesar das diversas crises ocorridas, e sugerindo que as grandes empresas que contribuem para este índice têm sido mais resilientes a essas crises.

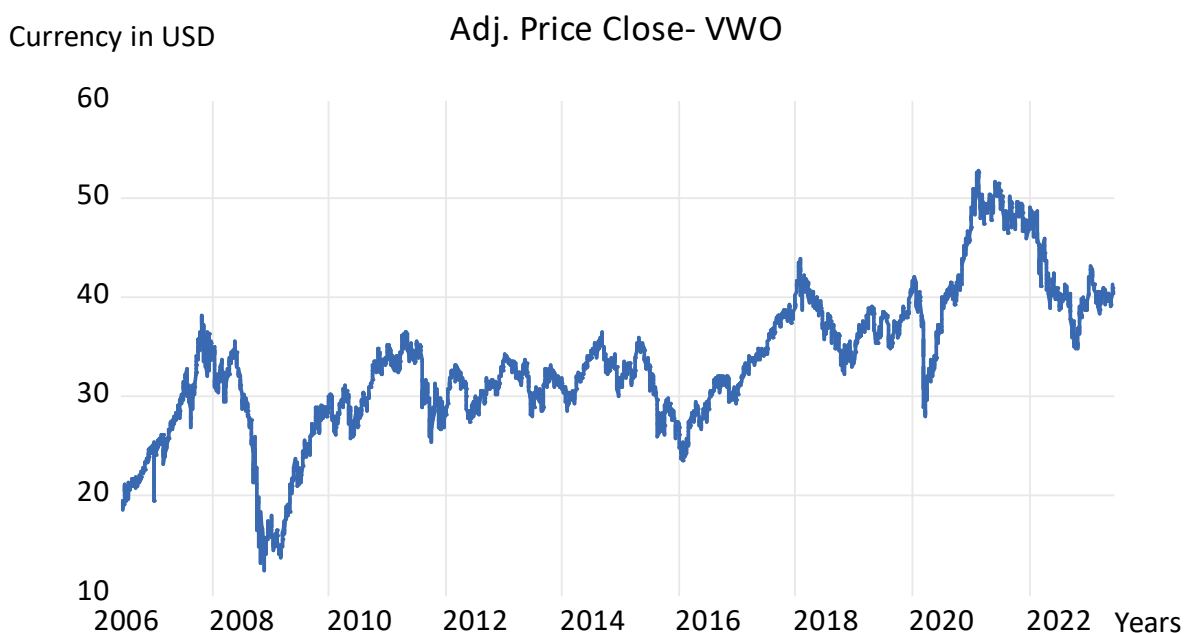


Figura 5 - Evolução das cotações do VWO no período de 14/06/2016 a 13/06/2023.

A Figura 5 ilustra a distribuição dos preços ajustados do ETF VWO entre 2006 e 2023. Para o período analisado, observa-se existirem várias flutuações mais acentuadas do que no SPY.

O VWO foi introduzido no mercado em 2006, e demonstrou um crescimento acentuado até à crise financeira de 2008, ano em que os mercados das economias emergentes foram bastante influenciados pelo choque global, apresentando interconexão dessas economias com as dos países desenvolvidos. De seguida, o gráfico demonstra uma recuperação nos anos subsequentes entre 2009 e 2010.

Apesar dessa recuperação, no período de 2011 a 2013, verifica-se uma consolidação dos mercados, que é influenciada pela desaceleração económica de diversos países emergentes como a China, Brasil e Índia, e influenciada pela crise da zona do euro de 2011. Cubeddu et al. (2014) sugeriram que esse arrefecimento económico (de 2011 a 2013) dos países emergentes foi influenciada por vários fatores, entre eles, a política de preços relativamente

às commodities e a política cambial, verificando-se uma procura externa mais fraca, e uma diminuição da procura de parceiros comerciais até 2012.

A partir de meados de 2015, o gráfico revela uma nova fase de instabilidade, desta vez relacionada com a desaceleração da economia chinesa e com a queda dos preços das *commodities*. Conforme reportado pela Reuters, por essa altura ocorreu uma desvalorização das moedas de certos países, como o real brasileiro que caiu 30%, o rand sul-africano que teve uma queda de quase 25%, a lira turca que diminuiu em 20%, e o rublo russo, que impactaram negativamente as exportações chinesas. Tal deveu-se à dependência desses países em relação a *commodities* como o petróleo e o cobre.

Em 2020 ocorre um novo “crash” devido à pandemia Covid-19, e relacionado com as medidas de fechamento da sociedade (*lockdown*) e incerteza económica que afetaram todos os mercados financeiros, como já foi descrito anteriormente.

Em resumo, da análise gráfica da distribuição do valor do VWO, durante o período 2006 a 2023, destacam-se principalmente dois grande “crash”, em 2008 e em 2020, como também momentos de alguma incerteza nos mercados noutros períodos, como 2011-2012 e 2015, relativamente aos mercados emergentes. Atualmente verifica-se uma tendência crescente, apesar de uma elevada volatilidade.

4.2.2 Análise com base nas Rendibilidades

Para análise empírica desenvolvida, as séries temporais utilizadas basearam-se na variável rendibilidade, em vez do preço ajustado de fecho de mercado, uma vez que a rendibilidade pode eliminar tendências de longo prazo; uniformizar as escalas gráficas, oferecendo a melhor facilidade de comparação entre diferentes ativos, e simultaneamente realizar uma análise mais clara; e para estimar os modelos de volatilidade, já que um dos pressupostos é a estacionariedade numa série temporal. Adicionalmente, sabe-se que em séries temporais a rendibilidade tem menor estacionariedade que as cotações ou os preços ajustados.

A rendibilidade corresponde ao número das rendibilidades diárias de cada ETF, no período da série temporal financeira são determinadas pela seguinte fórmula:

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \times 100 = (\ln P_t - \ln P_{t-1}) \times 100 \quad (4.1)$$

Onde,

P_t , Preço do ativo ou cotação de fecho ajustado do mercado bolsista no dia (t)

P_{t-1} , Preço do ativo ou cotação de fecho ajustado do mercado bolsista no dia anterior (t-1)

R_t , Rendibilidade diária do ETF.

Na fórmula das rendibilidades foi aplicado logaritmo natural para uma linearização das rendibilidades, melhorando a análise estatística. Os logaritmos naturais possibilitaram transformar dados que eram discretas em dados contínuos, facilitando o uso de modelos de volatilidade, tipo GARCH.

De seguida, foi realizada uma breve análise da rendibilidade tendo por base os gráficos observados.

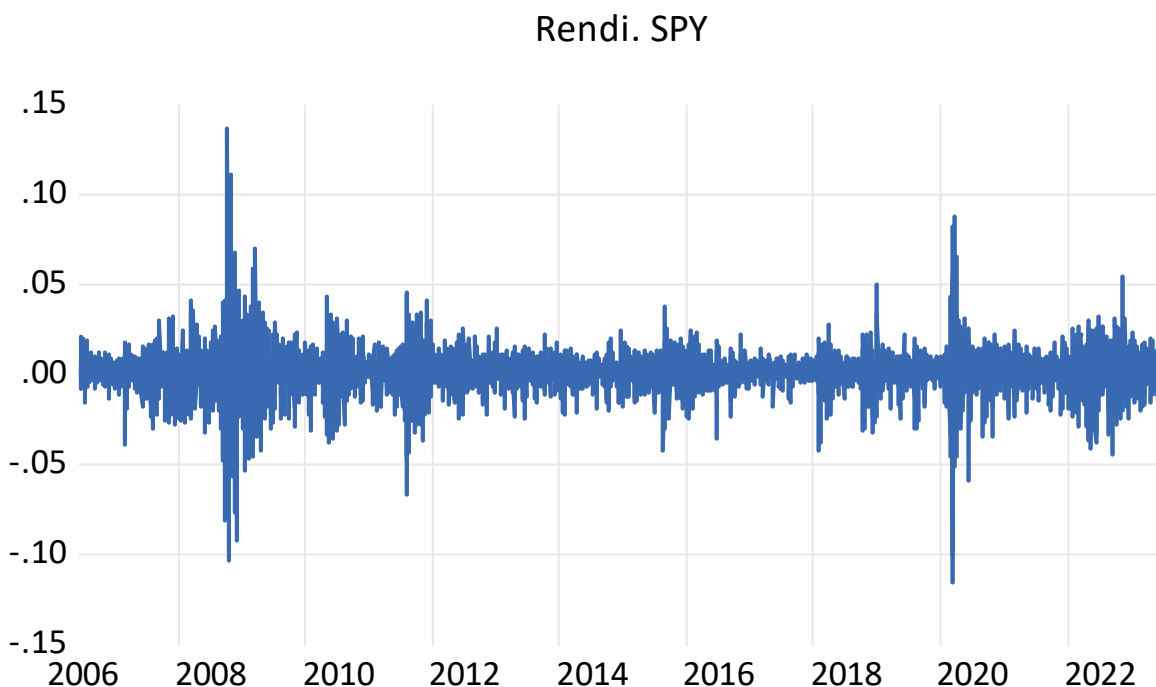


Figura 6 - Evolução das rendibilidades do SPY.

Rendi. VWO

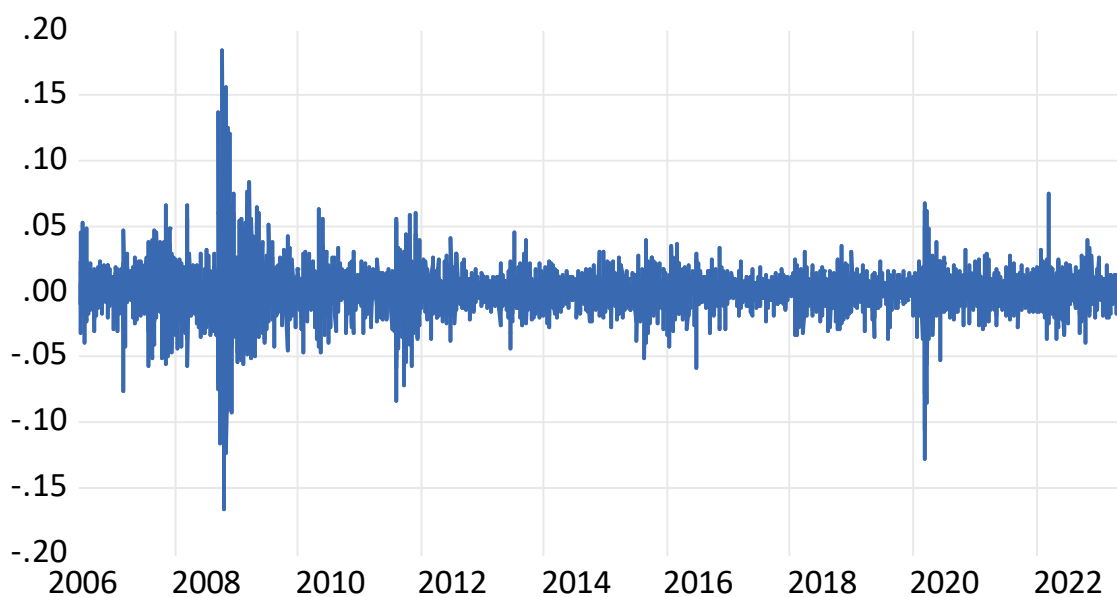


Figura 7 – Evolução das rendibilidades do VWO.

Conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7, ao analisar as rendibilidades do SPY e VWO, para o período 2006 a 2023, é evidente a presença de *clusters* de volatilidade, representando períodos de variações similares e sincronizadas ao longo do tempo.

Conforme discutido por Brooks (2002), a volatilidade tende a apresentar uma correlação sequencial, onde níveis de volatilidade anteriores influenciam os de períodos subsequentes. No caso da análise das rendibilidades do SPY e VWO podemos observar clusters de volatilidade caracterizados por fases de alta volatilidade que são seguidas por períodos de baixa volatilidade, e vice-versa.

Para o período em análise é possível identificar múltiplos clusters de volatilidade. No entanto, por volta dos anos de 2008 e 2020 foi observado principalmente dois clusters de alta volatilidade seguido por um período subsequente de baixa volatilidade nos anos 2009-2011 e 2020-21, respetivamente. Esses padrões de clusters de volatilidade repetem-se ao longo dos anos, indicando uma tendência consistente de flutuações para ambos os ETFs SPY e VWO.

Comparando os momentos de alta volatilidade nas rendibilidades com os movimentos de preços originais do VWO e SPY, é notável que esses picos de volatilidade frequentemente coincidem com picos correspondentes nos preços, enquanto períodos de baixa volatilidade nas rendibilidades estão associados a fases de estabilidade nos preços. Esse padrão de

correspondência entre volatilidade e movimentos de preços sugere uma interdependência entre esses dois aspetos do mercado.

Além disso, foi destacado que os decréscimos maiores (igual ou inferior a -10%) nas rendibilidades diárias do SPY foram: -10,364% (em 15/10/2008); -10,057% (12/03/2020); e -11,589% (16/03/2020). Já para o VWO as rendibilidades mais negativas foram: - 11,5672% (29/09/2008); -16,66% (15/10/2008); -10,11% (22/10/2008); -12,40% (05/11/2008); -10,60% (12/03/2020); -12,88% (16/03/2020), tal como coincide sobre os clusters de volatilidade anteriormente descritos.

4.3 Estatísticas Descritivas

As estatísticas descritivas desempenham uma forma importante para análise e interpretação de dados, resumindo informações complexas em medidas mais compreensíveis e identificando padrões. Adicionalmente, podem ajudar a selecionar os modelos estatísticos com base na natureza dos dados.

Esta secção, apresenta algumas medidas de tendência central (média e mediana), e medidas de assimetria e curtose, com o objetivo de caracterizar o tipo de distribuição dos dados analisados. Em seguida, descreve-se e analisa-se a concentração dos dados através da tabela de frequências e dos histogramas. Por último, apresenta o teste para verificar se os dados seguiam uma distribuição normal

A análise descritiva realizada com base na ferramenta *Data Analysis* do MS-Excel, que inclui o módulo *Descriptive Statistics e Histogram*.

Tabela 2 - Estatística descritiva para as rendibilidades do SPY e VWO.

	SPY	VWO
Mean	0,000359462	0,000180121
Standard Error	0,000186828	0,000255624
Median	0,000432541	0,00073321
Mode	0	0
Standard Deviation	0,012440554	0,017021591
Sample Variance	0,000154767	0,000289735
Kurtosis	14,04824539	14,49397025
Skewness	-0,367798209	-0,022140998
Range	0,251463807	0,351225253
Minimum	-0,115886508	-0,166554047
Maximum	0,135577299	0,184671207
Sum	1,593852444	0,798655284
Count	4434	4434
Largest(1)	0,135577299	0,184671207
Smallest(1)	-0,115886508	-0,166554047
Confidence Level (99,0%)	0,000481444	0,000658728

Com base na amostra de 4434 registos da rendibilidade dos ETFs SPY e VWO, a análise descritiva verificou a existência de uma média aproximadamente de zero (0) e um desvio-padrão também muito reduzido.

Comparativamente entre os desvios-padrões de SPY e VWO, o VWO variou 4,57% a mais em relação ao SPY. Além disso, os valores dos desvios-padrões apresentaram valores mais elevados do que a média.

As medidas de assimetria (*skewness*) caracterizam-se por representar a forma da distribuição dos dados em relação à média. Em particular, o coeficiente de assimetria apresentou-se negativo: com -0,367798209 para SPY e -0,022140998 para VWO. Verifica-se que as rendibilidades seguem uma distribuição assimétrica negativa, onde a distribuição é enviesada à esquerda, isto significa que a probabilidade de existir desvios negativos é maior do que em desvios positivo.

O coeficiente de curtose ou Kurtosis (K) é o grau de achatamento ou altura de uma distribuição em relação à distribuição normal. Conforme Gujarati e Porter (2020), se o valor de K for menor de 3 a função densidade de probabilidade (PDF) será designada por platykurtic (distribuição é espessa ou tem cauda curta.). Se K for maior que 3 a PDF é designada por leptocúrticos (ou leptokurtic), indicando que a PDF será magra ou terá uma

cauda longa. Por último, uma PDF mesocúrtico também conhecida por uma distribuição Normal tem K igual a 3.

Através dos outputs da tabela, o coeficiente K foi aproximadamente de 14,05 (SPY) e 14,48 (VWO) verificando um excesso de curtose (o valor de k ser superior a 3). Concluindo que PDF é uma distribuição leptocúrtica (leptokurtic), caracterizada por rendibilidades concentradas maioritariamente no valor de 0 e com caudas mais alongadas. Neste tipo distribuição é conhecida por existir uma maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos (por exemplo, o *crash* do COVID-19).

De seguida, foi realizado o teste de Jarque Bera (J-B), sendo que foi testado se a Hipótese nula(H0) de uma série financeira segue uma Distribuição Normal. De seguida, será explicado a razão pela qual o teste da H0 foi rejeitado, com base nos cálculos e no histograma.

O teste Jarque-Bera é representado pela seguinte fórmula e serve para verificar se os dados seguem uma distribuição normal.

$$JB = n \left[\frac{S^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right] \quad (4.2)$$

Onde, n é número de observações;

S é coeficiente de assimetria;

K é coeficiente de curtose (K).

Tabela 3 - Resultados do Teste J-B.

Teste de Jarque-Bera	SPY	VWO
Resultado	22 651,24	24 407,93
p-value	0,00%	0,00%
α	1%	1%

A medida estatística Jarque-bera é utilizada para testar se os dados seguem uma distribuição normal. O valor do teste J-B é comparado com uma distribuição qui-quadrado com dois graus de liberdade para determinar se na hipótese nula as rendibilidades seguem uma distribuição normal. Portanto, para testar se os valores seguem uma distribuição foi realizada a quinta sequência de atividades:

Em primeiro lugar, foi determinado a Assimetria(S) e a curtose (K).

Segundo, foi calculado o valor do teste J-B utilizando a fórmula (4.2).

Terceiro, foi utilizado a fórmula do M.S. Excel [CHISQ.DIST. RT (valor do teste;2)] para determinar o p-value, admitindo que o teste J-B segue uma distribuição Qui-quadrado (2).

Quarto, foi comparado o p-value com o valor de significância de 1%, denotado como alpha (α), isto é, com um nível de confiança de 99%

Quinto, após os passos anteriores, foi concluído através do teste que as rendibilidades seguem uma distribuição normal, pois p-value é inferior a α .

Além do teste J-B também se analisou o Histograma para confirmar a fiabilidade do teste. Para analisar o Histograma, foi realizado os seguintes passos:

Primeiro, foi calculado a amplitude da amostra (R), $R = \max\{x_i\} - \min\{x_i\}$.

Segundo, foi calculado o número de classes k, i.e., k é o menor inteiro tal que $2k \geq n$ (regra de Sturges).

Terceiro, foi determinado a amplitude de cada intervalo (R/K).

Quarto, com base em toda informação anterior, foi realizado uma tabela de frequências, numa coluna (K) e outra e os *slots*.

Quinto, com base no quadro de frequências foi utilizado a ferramenta de histograma do Excel.

Foi analisado através dos Histogramas (Figuras 5 e 6) SPY e VWO, as seguintes conclusões.

Em primeiro, observa-se que os valores se apresentam muito concentrados no centro. Isto é 74,81% das rendibilidades do SPY encontram-se no intervalo de valores [0.000; 0.019]; e 70,93% no intervalo [-0.032; -0.004] para VWO. Isso pode sugerir que os valores estão agrupados em torno dessas faixas, indicam uma possível estabilidade ou tendência central para essa variável. Através das Figuras 8 e 9, pode-se verificar alguma similaridade com a distribuição normal pelo facto de se verificar alguma simetria com uma frequência absoluta similar nos intervalos [-0.032; -0,011] e [0,031; 0,052]. No VWO, já não se verifica essa similaridade, em que esses intervalos de confiança [-0,049; -0,020] e [0,009; 0,038], demonstram alguma irregularidade, isto é, as rendibilidades se encontram mais à direita do gráfico.

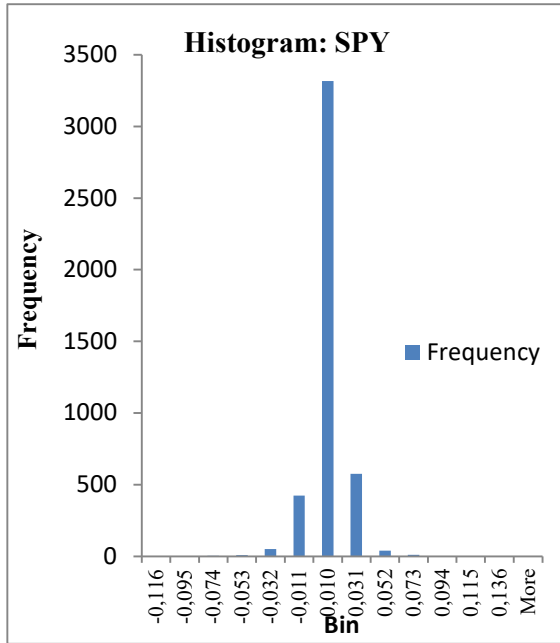


Figura 8 - Histograma das rendibilidades do SPY no período 15/06/2006 a 13/06/2023.

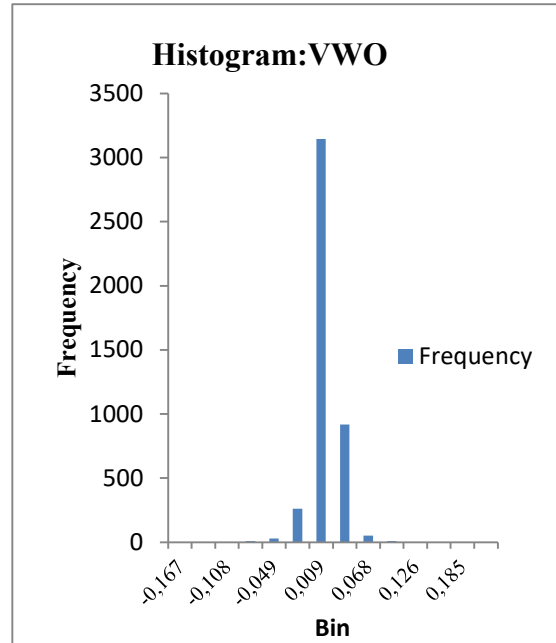


Figura 9 - Histograma das rendibilidades do VWO no período 15/06/2006 a 13/06/2023.

4.4 Pressupostos para Aplicação dos Modelos EGARCH e GJRGARCH

Nesta seção, verifica-se se os pressupostos para a aplicação dos modelos EGARCH e GJRGARCH são válidos, de modo a garantir a fiabilidade dos resultados obtidos. Os pressupostos para a aplicação desses modelos são os seguintes: (1) estacionariedade; (2) inexistência de autocorrelação; e (3) hipótese dos modelos terem heterocedasticidade (teste ARCH-LM).

Para o cálculo dos testes de hipótese foi utilizado o software, *EViews*.

4.4.1 Pressuposto da Estacionariedade

Conforme discutido por Brooks (2002), para análise de séries temporais, as mudanças esperadas ou imprevisíveis em séries estacionárias (i.e., características estatísticas que se mantêm constantes, independentemente do momento do tempo em que são observadas) gradualmente se dissipam, sendo que o oposto ocorre com as oscilações, que podem persistir ao longo do tempo.

De modo a realizar uma análise mais aprofundada da estacionariedade, foram selecionados testes de aceitação generalizada, com o Teste Augmented Dickey Fuller (ADF) e o Teste Kwiatkowski-Phillips-Schmidt Shin (KPSS). Estes testes são reconhecidos por testar a não estacionariedade ou também designados por testes de raiz unitária.

Nas subsecções seguintes é explicado de forma teórica os testes ADF e KPSS, bem como a sua aplicação no caso de presente investigação.

4.4.1.1 Teste Augmented Dickey Fuller (ADF)

Bentes (2011) refere que para o Teste ADF é necessário adotar a seguinte regressão para a variável y_t :

$$\Delta y_t = \omega + \delta_t + (\rho - 1) y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \lambda_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.3)$$

Onde:

$\omega + \delta_t$, representa a tendência determinística;

ρ , o coeficiente de auto-regressão da variável y_t ;

λ_i , corresponde ao conjunto de coeficientes das diferenças defasadas de Δy_t ;

ε_t é a perturbação aleatória com o número de defasagens ou *lags* (são os valores passados de uma variável que são usados para prever seus valores futuro) escolhido de forma que $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma^2)$.

Selecionar o número apropriado de lags é uma parte importante na criação de modelos que seguem as séries financeiras, de modo a estimar de forma mais precisa esses padrões. Conseqüentemente, existem dois critérios que nos ajudam a selecionar o número de *lags*: AIC- *Akaike Information Criterion* (1974) e BIC/SIC- *The Bayesian information criterion* (BIC) ou *Schwarz criterion* (SIC) (1978).

Foi selecionado para a investigação o critério SIC, pela sua simplicidade. O SIC baseia-se nos princípios da inferência *bayesiana*, que procura encontrar o modelo mais parcimonioso possível, i.e., procura encontrar um equilíbrio entre o ajuste aos dados e a complexidade do modelo.

A expressão $(\rho-1) y_{t-1}$ é utilizada para determinar a existência ou inexistência de estacionariedade do processo. Nesse sentido, testa-se a hipótese nula ($h_0: \rho=1$) contra a hipótese alternativa ($h_1: |\rho|<1$ estacionariedade). Este teste identifica a existência de uma raiz unitária na variável em níveis y_t e em primeiras diferenças Δy_t , em contraposição à hipótese alternativa $|\rho|<1$ (estacionariedade).

Conseqüentemente, essa análise foi apoiada com o software *EViews* para determinar esses resultados. Tendo sido possível considerar três opções para a realização deste teste:

- (1°) a escolha de apenas uma constante na regressão ($\tau\omega$);
- (2°) a escolha de constante e de uma tendência linear na regressão ($\tau\tau$);
- (3°) a escolha sem a inclusão de nenhuma constante ou tendência na regressão (τ);

A flexibilidade também está presente na fórmula, com a consideração de uma constante e uma tendência linear, somente uma constante ou a ausência de ambas.

O valor de ρ tem as seguintes implicações:

- Se $|\rho|<1$, a sequência (ou processo) é estacionária, significa que a média, variância e covariância em y_t não varia ao longo do tempo;
- Se $|\rho|=1$, a sequência (ou processo) é não estacionária de raiz unitária, indicando padrões de longo prazo sem estabilização na média e variância,

- Se $|\rho| > 1$, a sequência (ou processo) é não estacionária de forma explosiva. Isso sugere que a série possui um comportamento instável, onde os valores podem divergir significativamente com o tempo. Este cenário é geralmente menos comum em séries temporais e pode indicar uma falta de controle ou uma alta variabilidade nos dados.

Dickey e Fuller (1981) realizaram dois testes para testar a estacionariedade. Apenas será explicado um deles, definido por $T(\rho - 1)$, onde T é o tamanho da amostra. Notar que $\tau < \tau_0 < \tau$ e, para a estatística τ , os valores críticos do teste ADF se assemelham à distribuição Normal Standardizada, e que a sua incorreta utilização pode levar à rejeição errada da Hipótese Nula, especialmente com mais componentes no modelo.

Segundo Bentes (2011, citando Said e Dickey (1984)), refere que a estatística τ é independente do número de defasagens das primeiras diferenças na regressão ADF. Essas diferenças são vitais para eliminar autocorrelações mais altas nos resíduos e validar o pressuposto de resíduos $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d.}$ com mínimos quadrados. Além disso, ao incluir uma componente de médias móveis não altera a validade do teste ADF.

Contudo, o modelo ADF enfrenta críticas por se basear no julgamento da Hipótese Nula, podendo 'sobre-rejeitar' a não estacionariedade. Uma alternativa é a aplicação do teste KPSS (Kwiatkowski et al., 1992) que inverte as hipóteses, focando a estacionariedade. O teste KPSS, baseado em Multiplicadores de Lagrange, considera um modelo com tendência determinística, variável aleatória e residual estacionário.

4.4.1.2 Teste The Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, and Shin (KPSS)

O teste KPSS foi desenvolvido por Kwiatkowski et al. (1992), e a sua distinção principal reside na inversão das hipóteses avaliadas. A Hipótese Nula (H_0) considera a série temporal como estacionária (i.e., inexistência da raiz unitária), contrastando com a Hipótese Alternativa (H_1) de não estacionariedade.

O teste KPSS é considerado uma abordagem de Multiplicadores de Lagrange (LM), baseando-se na representação em componentes da série temporal, e é definido pelo seguinte modelo:

$$y_t = \mu_t + z_t + u_t \quad (4.4)$$

$$z_t = z_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.5)$$

Onde,

y_t representa a série temporal em análise, μ_t é uma componente de tendência determinística, z_t é um processo de caminho aleatório e u_t é uma variável residual estacionária. A variável $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d.} (0, \sigma^2\varepsilon)$.

A Hipótese Nula para testar a estacionariedade da série temporal é $\sigma\varepsilon^2=0$, com o valor inicial z_0 , sendo uma constante. Se $\sigma\varepsilon^2=0$, então todos os erros ε_t devem ser nulos, levando $z_t=z_{t-1}$, tornando y_t um processo TSP (Trend Stationary Process), isto é, estacionário em tendência. Quando $\mu=0$, a série y_t é estacionária em torno de um nível, em outras palavras, z_0 é constante. Nesse caso, a estatística do teste KPSS é representada como:

$$LM = \sum_{t=1}^T S_t^2 / \hat{\sigma}_\varepsilon^2. \quad (4.6)$$

Onde,

$S_t = \sum_{r=1}^t \hat{u}_r$ representa a soma dos resíduos da regressão de x_t sobre uma constante e uma tendência determinística, ou seja, $\hat{u}_t = x_t - \mu_t - z_0$

O $\hat{\sigma}_u^2$ é um estimador da variância dos resíduos μ_t .

Adicionalmente, a distribuição da estatística do teste KPSS depende da presença ou ausência de uma tendência determinística no modelo, embora a expressão do teste seja válida tanto para $\mu=0$ quanto $\mu \neq 0$.

Os testes ADF e KPSS, apesar de Hipótese Nula de maneira oposta, recomenda-se a sua utilização conjunta de ambos para avaliar a estacionariedade de uma série temporal. Essa abordagem, conhecida como "análise de dados confirmatória", fortalece a confiabilidade dos resultados, proporcionando maior segurança na classificação da série temporal, caso os resultados sejam consistentes.

4.4.1.3 Análise dos resultados dos Testes ADF e KPSS

Nesta subsecção, são apresentados e interpretados os resultados dos testes ADF e KPSS, (que se realizaram através do software EViews) para verificar a existência ou inexistência da estacionariedade da série das rendibilidades dos ETFs SPY e VWO,

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos pela realização dos testes ADF e KPSS com o software EViews.

Tabela 4 - Testes de estacionariedade (ou testes de raízes unitárias).

	ADF	KPSS
SPY	92.1237**	0.07453
VWO	53.6758**	0.01235

Notas: Os valores críticos de Mackinon (1996) para o teste ADF são -3.960241 (1%) e -3.410883 (5%) com 0 lags. Os valores críticos do teste KPSS para a constante e tendência são 0.216 (1%) e 0.146 (5%). (referência ao SPY)

Observações: O ** indica um nível de significância de 1%.

Teste ADF- H₀: a série é não estacionária

No teste ADF, é testado a hipótese nula de uma serie ser não estacionária, i.e., ter raízes unitárias (indicam que os valores passados da série continuam a influenciar os valores futuros de forma persistente). Quando o valor ADF com nível de significância (de 1% ou 5%) é comparado com valores críticos que dependem do tamanho da amostra, é obtido duas hipóteses. Se a estatística do teste ADF for mais negativa (ou menos positiva) do que o valor crítico correspondente, pode-se rejeitar a hipótese nula de raízes unitárias e considerar a série como estacionária.

Como os valores dos testes são estatisticamente significativos a um nível de significância de 1% (por esse motivo é que aparece ** à frente dos valores), significa que o teste da hipótese 1 da série ser estacionária é rejeitado, logo a série é não estacionária.

Teste KPSS- H₀: a série é estacionária

Para confirmar que esses resultados demostram ser uma série estacionária, foi aplicado o teste de estacionariedade KPSS.

Neste teste, a hipótese nula (H_0) é contrária ao teste anterior (i.e., ao teste ADF), isto é, a H_0 : a série é estacionária contra a H_1 : a série não é estacionária. Portanto, se a série for estacionária, deve-se aceitar a hipótese nula (H_0) e confirmar o teste anterior (ADF).

No caso particular, o teste resultou na aceitação da hipótese nula visto que o valor crítico com nível de significância (1%) é muito significativo em relação ao valor de estatística do teste KPSS. Apesar deste teste de hipótese concluir o oposto do teste ADF, pode-se concluir que a série é estacionária. Portanto, este teste possibilitou assegurar a estacionariedade como pressuposto aos modelos de heterocedasticidade aplicado aos ETFs.

4.4.2 Pressuposto da Inexistência de Autocorrelação

Para o pressuposto, de inexistência de autocorreção, foi realizado uma análise baseada em correlogramas para o teste de Ljung-Box, como também para teste de Breusch-godfrey (BG).

O teste de Ljung-Box testa se a hipótese é nula (h_0): então não há autocorrelação.

Nas Figuras 10 e 11 pode-se observar os resultados obtidos no correlograma, testando a autocorrelação e obtendo os valores da aplicação do teste de Ljung-Box.

As Figura 10 e 11 incluem duas colunas das funções de autocorrelação e da autocorrelação parcial. Além disso, são considerados por omissão 36 *lags* para o teste *Ljung-Box*. Foi testado a hipótese nula (H_0 : não há autocorrelação numa série financeira. Nos dois correlogramas foi observado que *p-value* (valores da coluna “Prob”) é zero para os vários defasamentos, portanto, os valores são estaticamente significativos, i.e., verifica-se que *p-value* apresentou ser inferior ao nível de significância de 1%, logo rejeita-se a hipótese nula, verificando assim a autocorrelação.

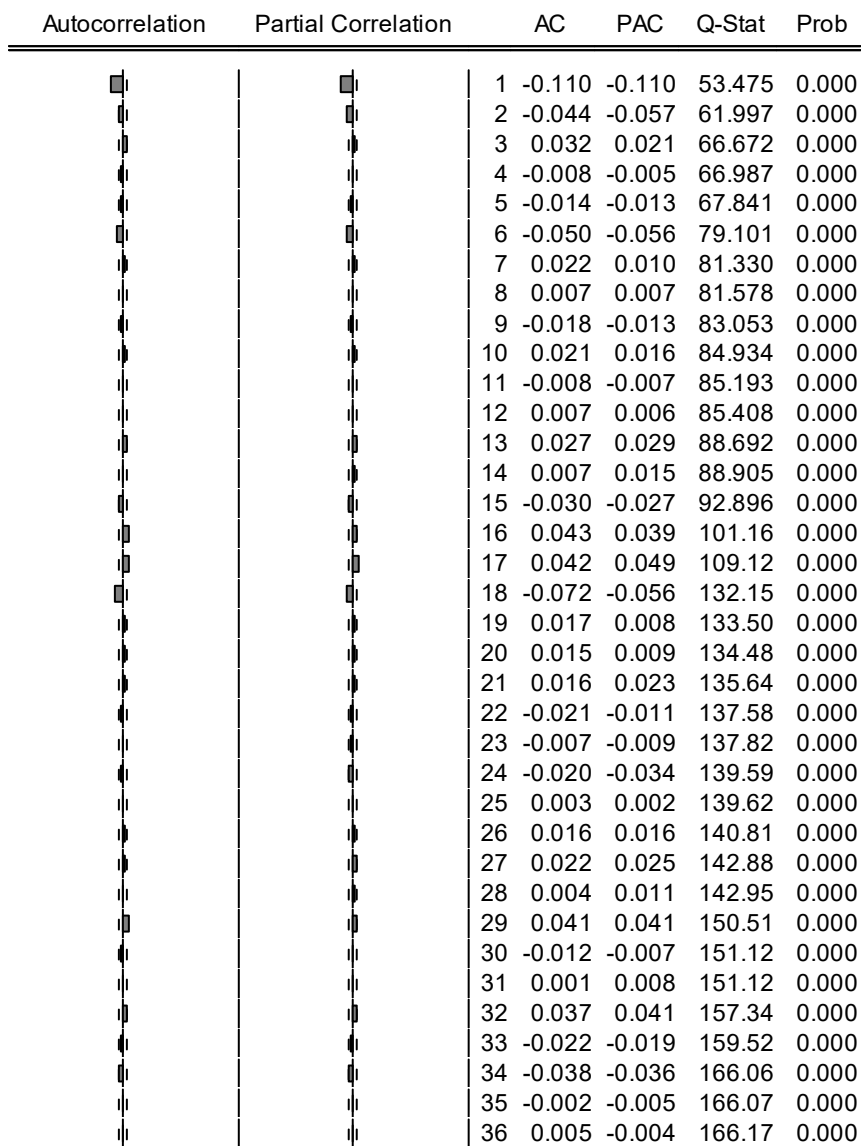


Figura 10 - Correlograma das rendibilidades do VWO.

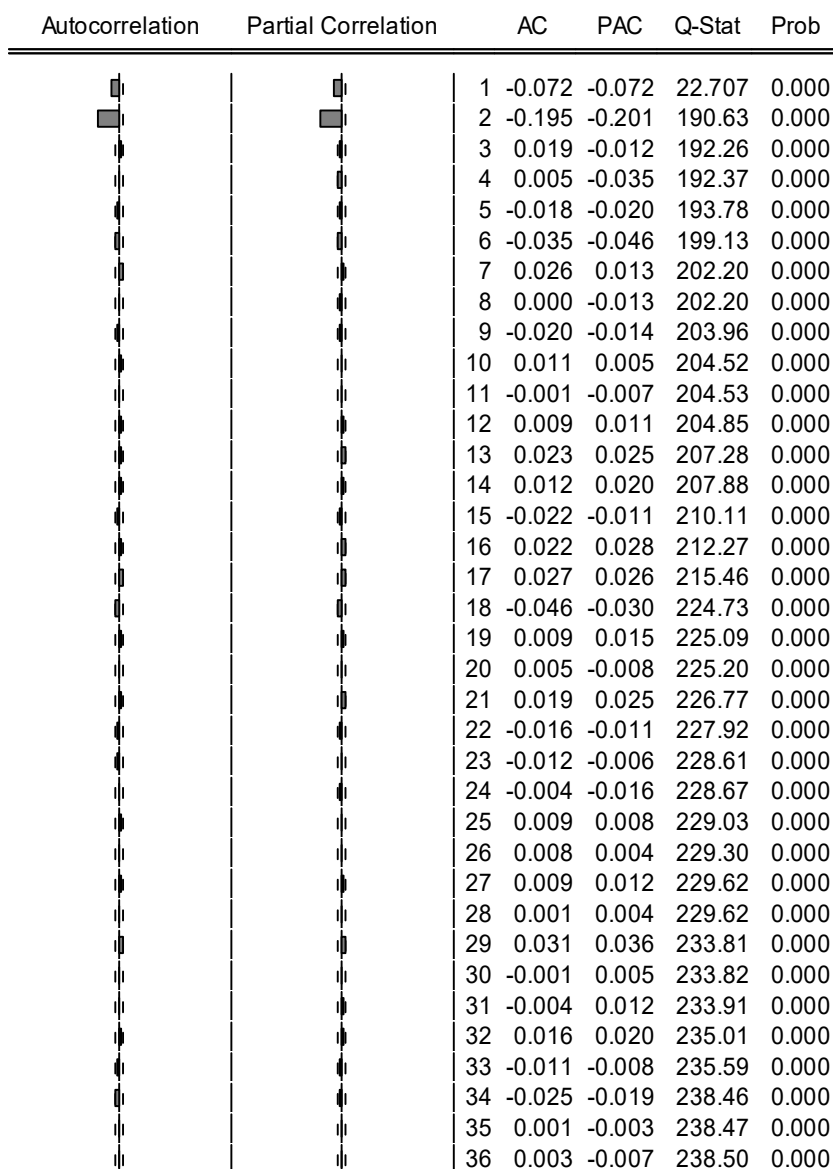


Figura 11 - Correlograma das rendibilidades do VWO.

De modo a comprovar a existência de autocorrelação foi aplicado o teste de Breusch-godfrey (BG). Neste modelo testa-se a hipótese nula(H0) de não haver autocorrelação. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teste de autocorrelação BG aplicado às rendibilidades.

Teste BG	Estatística F	Estatística χ^2
SPY	68,2354**	212,6758**
VWO	21,4647**	15,3425**

Notas: Para calcular o valor do teste utilizaram-se dez desfasamentos. ** Denota um nível de significância de 1%

Como se pode verificar não se rejeita H_0 de que não há autocorrelação para as rendibilidades dos ETFs SPY e VWO pois a probabilidade de não haver acordo com os valores acima apresentados é zero para todos os casos. Portanto, como os valores são estatisticamente significativos (a um nível de significância de 5% e 1%) conclui-se que há autocorrelação.

Por conseguinte, com base nos testes Breusch-godfrey (BG) e Ljung-Box que há autocorrelação para as rendibilidades dos índices ETFs: SPY e VWO. Dessa forma, este pressuposto subjacente à aplicação dos modelos ARCH não foi satisfeito, o que nos propulsou a identificar uma abordagem de mitigação desta situação. Nesse sentido, a estratégia apropriada para atenuar a autocorrelação foi proceder ao ajustamento de um modelo autoregressivo AR.

4.4.3 Pressuposto da Heterocedasticidade

O terceiro pressuposto à aplicação dos modelos ARCH é a existência de heterocedasticidade numa série de dados. Em virtude disso, foi utilizado o teste de ARCH-LM de Engle (1982), que testa a Hipótese nula(H_0) de não ser heterocedasticidade condicionada. A tabela apresenta os resultados obtidos da execução deste teste.

Tabela 6 - Resultados do teste de ARCH-LM

Teste ARCH-LM	Estatística F	Estatística χ^2
SPY	56,5647**	126,6758**
VWO	20,9685**	78,4536**

Notas: Para calcular o valor do teste utilizaram-se dez defasamentos. ** Denota um nível de significância de 1%

Os valores dos testes apresentaram ser estatisticamente significativos a um nível de 1%, logo foi rejeitado a hipótese nula (h_0), i.e., da não existência de heterocedasticidade. Portanto, concluiu-se que a série das rendibilidades dos ETFs SPY e VWO terem heterocedasticidade.

4.5 Estimação dos modelos GARCH, EGARCH e GJR-GARCH

Na secção anterior, relativamente à inexistência de autocorrelação, foi verificado que a série das rendibilidades dos ETFs SPY e VWO apresentavam autocorrelação. De modo a resolver essa questão foi ajustado o modelo, modelo autoregressivo – $AR(p)$ (autoregressive model) no sentido de remover qualquer tipo de autocorrelação. Com a utilização dos correlogramas

e analisando a função autocorrelação e de autocorrelação parcial optou-se por um modelo AR (1) para o SPY e VWO para capturar a autocorrelação presente nos dados.

Adicionalmente, optou-se pela distribuição t de Student para a estimação dos modelos pois havia evidências de que os dados seguiam uma distribuição com *fat tails*, como anteriormente demonstrado.

Os resultados obtidos das estimativas dos modelos são apresentados nas Tabelas 7 e 8, onde é observado os coeficientes estimados para os termos GARCH e, no caso do modelo GJR-GARCH, também para o termo de assimetria.

Tabela 7 - Estimativas dos modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1) para as rendibilidades do SPY

	$\hat{\omega}$		$\hat{\alpha}$		$\hat{\beta}$		$\hat{\gamma}$	
GARCH	0,0001	**	0,2942	**	0,7945	**	-	
EGARCH	0,8564	**	0,1551	**	0,8367	**	-0,1125	**
GJR-GARCH	0,0025	**	0,0365	**	0,8673	**	0,2546	**

Notas: ** significativo a 1%. * significativo a 5%

Tabela 8 - Estimativas dos modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1) para as rendibilidades do VWO

	$\hat{\omega}$		$\hat{\alpha}$		$\hat{\beta}$		$\hat{\gamma}$	
GARCH	0,0000	**	0,2415	**	0,6758	**	-	
EGARCH	0,9685	**	0,0564	**	0,9548	**	-0,2117	**
GJR-GARCH	0,0057	**	0,0659	**	0,9356	**	0,3277	**

Notas: ** significativo a 1%. * significativo a 5%

Comentários: Todos os coeficientes são estatisticamente significativos a 1%.

No modelo simétrico (GARCH), os coeficientes das rendibilidades dos ETFs SPY e VWO revelaram-se positivos, aliados à sua significância estatística, evidenciando a existência de clusters na volatilidade, e que períodos de alta volatilidade sucedem-se a períodos de baixa volatilidade, e vice-versa.

Por outro lado, tanto os modelos EGARCH (1,1) como GJR-GARCH (1,1) indicaram a presença de efeitos assimétricos na volatilidade. No modelo EGARCH (1,1), o coeficiente γ foi negativo, enquanto no GJR-GARCH (1,1) foi positivo. Tal facto, revela que o efeito das más notícias é maior do que o das boas notícias.

Verifica-se também que o O ETF VWO apresenta um coeficiente de assimetria (γ) mais elevado que o do SPY, o que é coerente com a realidade, dado que a volatilidade em países emergentes é tipicamente mais alta. Isso reflete também que o impacto das más notícias é mais pronunciado nesses países do que nos países representados no SPY.

4.6 Síntese

A investigação centrou-se na análise do comportamento assimétrico de volatilidade financeira nos ETFs SPY e VWO, para o período de 2006 a 2023. Nesse período, é de destacar dois momentos principais de alta volatilidade nos mercados financeiros: a crise financeira subprime de 2008; e a crise pandémica de 2020 provocado pelo *lockdown* do *COVID-19*.

Para a elaboração das estimativas dos modelos EGARCH e GJR-GARCH foi conduzida uma análise preliminar. Essa análise incluiu uma análise descritiva das rendibilidades dos ETFs como aplicação de diversos testes de hipóteses, visando a verificação da conformidade com os pressupostos de modelos com heterocedasticidade.

A análise descritiva da evolução das rendibilidades dos ETFs verificou não seguirem uma distribuição Normal, com base na aplicação do Teste Jarque-Bera. Adicionalmente foram analisados os coeficientes de assimetria e curtose nos dois ETFs. O coeficiente de assimetria apresentava-se negativo que explica que os desvios negativos são muito maiores do que os positivos. O coeficiente de curtose apresentou ser superior a três, que representa excesso de curtose, e conseqüentemente, que existe maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos.

Para garantir a fiabilidade nos modelos com heterocedasticidade foi necessário verificar os seguintes pressupostos (1) estacionariedade; (2) inexistência de autocorrelação e (3) hipótese de os modelos terem heterocedasticidade.

Primeiro, testou-se a estacionariedade das rendibilidades, que se verificou que a série não seguia a estacionariedade, com base no teste ADF. Apesar disso um segundo teste de estacionariedade, com base no teste KPSS, assegurou esse pressuposto. Segundo, foi testado se as rendibilidades não tinham autocorrelação. Todavia com o teste de Ljung-Box (36 lags) apresentou-se com valores estatisticamente significativos, que explicava uma autocorrelação das rendibilidades. Verificou-se a mesma conclusão com o teste de Breusch-godfrey (BG),

com 10 lags. Concluindo, que o modelo não cumpria com este segundo pressuposto, foram realizados ajustados aos modelos. Terceiro, foi analisado através do teste de ARCH-LM, o pressuposto dos modelos terem heterocedasticidade, e que se verificou.

Após essa análise preparatória, foram aplicados os modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1). As principais conclusões foram as seguintes: Primeiro, no modelo simétrico (GARCH), os coeficientes das rendibilidades do ETF foram principalmente positivos e estatisticamente significativos, indicando a existência de clusters na volatilidade (Períodos de alta volatilidade sucedem-se a períodos de baixa e vice-versa). Segundo, tanto os modelos EGARCH (1,1) quanto o GJR-GARCH (1,1) evidenciaram a presença de efeitos assimétricos na volatilidade. No EGARCH (1,1), o coeficiente γ foi negativo, enquanto no GJR-GARCH (1,1) foi positivo. Isso confirmou que o impacto das más notícias é maior do que o das boas notícias.

Terceiro, relativamente aos coeficientes de assimetria γ , o coeficiente do VWO apresentou-se mais elevado em comparação com o do SPY, tornando-se coerente com o esperado, isto é, que os mercados emergentes frequentemente têm maior volatilidade, o que implica que as más notícias têm um impacto mais forte nesses mercados do que no mercado subjacente ao SPY.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO

Este estudo consistiu na investigação sobre o comportamento assimétrico da volatilidade financeira dos ETFs SPY e VWO, com base na informação disponível para o período compreendido entre 14 de junho de 2006 a 13 de junho de 2023. A análise verificou a existência de *clusters* de volatilidade e assimetria de volatilidade nestes ETFs, contribuindo para uma compreensão mais profunda dos padrões de comportamento dos mercados financeiros.

No Capítulo 2 foram abordados os fundamentos teóricos que enquadram a investigação. Foram contextualizados os ETFs como instrumentos financeiros que representam um portfólio de ativos e são negociados como ações em bolsa. Foi definida a volatilidade como uma medida da variação dos preços dos ativos em relação à sua média durante um determinado período. A revisão da literatura destacou a presença de *clusters* de volatilidade e assimetria na volatilidade, bem como a influência de fatores como a atenção dos investidores e efeitos de alavancagem.

No Capítulo 3 foram abordados os modelos econométricos do tipo GARCH, em particular os modelos EGARCH e GJR-GARCH, e apresentados vários trabalhos relacionados sobre a aplicação desses modelos no contexto dos mercados financeiros.

No Capítulo 4 a investigação centrou-se na análise empírica dos ETFs SPY e VWO, com o objetivo de verificar a presença de efeitos assimétricos na volatilidade. Foram estimados os modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1) para verificar a volatilidade e os efeitos assimétricos. A análise preliminar verificou a conformidade dos dados com os pressupostos dos modelos de heterocedasticidade, considerando a estacionariedade, a autocorrelação e a hipótese de heterocedasticidade. Os resultados revelaram a presença de efeitos assimétricos na volatilidade, com os modelos EGARCH (1,1) e GJR-GARCH (1,1) a demonstrarem que más notícias têm um impacto mais forte na volatilidade do que boas notícias. Adicionalmente, foi observada uma assimetria mais acentuada no ETF VWO, o que é coerente com a natureza dos mercados emergentes comparativamente com os mercados subjacentes ao SPY.

A investigação proporcionou uma compreensão aprofundada dos padrões de volatilidade e da análise da assimetria nos mercados financeiros, especificamente para os ETFs SPY e VWO. Os resultados sugerem a existência de *clusters* de volatilidade em que períodos de alta volatilidade são seguidos por períodos de igual volatilidade ou ainda maior volatilidade. Além disso, a assimetria na volatilidade foi evidenciada, destacando a maior sensibilidade da volatilidade a más notícias em comparação com as boas notícias.

As conclusões desta investigação têm implicações significativas para investidores, gestores de carteiras e reguladores. Compreender os padrões de volatilidade e assimetria pode auxiliar na gestão do risco e na tomada de decisões financeiras mais informadas. Além disso, os resultados podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias de investimento mais eficazes, considerando a dinâmica assimétrica da volatilidade.

Embora esta investigação tenha alcançado resultados valiosos, estender a investigação para um conjunto mais diversificado de ativos e para períodos mais longos pode fornecer uma visão mais abrangente dos padrões de volatilidade assimétrica. Por exemplo, recentemente a investigação de Muguto e Muzindutsi (2022) demonstrou que houve uma assimetria de volatilidade nos índices G7 mais elevada do que índices dos BRICS. Já na nossa investigação foi comparado um ETF que seguia as maiores empresas do Estados Unidos em relação a outro que seguia empresas de economias emergentes, resultando de uma maior assimetria no ETF das economias emergentes. Posto isso, considera-se que seja de interesse para a comunidade a realização de futuras investigações sobre a estimação de modelos com base em diferentes ETFs, e em distintas economias de modo a compreender melhor os efeitos da assimetria.

Em síntese, esta investigação contribuiu para o conhecimento sobre a volatilidade nos mercados financeiros, identificando a presença de *clusters* de volatilidade e assimetria na volatilidade nos ETFs SPY e VWO. A metodologia e as técnicas seguidas, bem como as conclusões podem servir como base para investigações futuras e para o suporte das estratégias de investimento e gestão de risco no contexto da volatilidade dos mercados financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, G. (2013). EGARCH, GJR-GARCH, TGARCH, AVGARCH, NGARCH, IGARCH and APARCH models for pathogens at marine recreational sites. *Journal of Statistical and Econometric Methods*, 2(3), 57-73.
- Azimova, T. (2022). Modelling volatility transmission in regional Asian stock markets. *The Journal of Economic Asymmetries*, 26, e00274.
- Bekaert, Geert, WU, Guojun (2000). Asymmetric Volatility and Risk in Equity Markets. *The Review of Financial Studies* Spring. The Society for Financial Studies. ISSN. 08939454. 13:1 1-42.
- Ben David, I., Franzoni, F., & Moussawi, R. (2018). Do ETFs increase volatility? *The Journal of Finance*, 73(6), 2471-2535.
- Bentes, R., Menezes, S., Ferreira, N. (2013). On the asymmetric behaviour of stock market volatility: evidence from three countries. *International Journal of Academic Research*, 5(4), 24–32. doi:10.7813/2075-4124.2013/5-4/a.4
- Bentes, S. (2011). *Sobre a Medição da Volatilidade nos Mercados Bolsistas Internacionais: Evidência dos Países do G7*. Lisboa: Edições Colibri/Instituto Politécnico de Lisboa. ISBN 978-989-689-124-4.
- Black, B. (1976). Studies of stock price volatilities changes. In *Proceedings of the 1976 Meeting of The American Statistical Association, Business and Economic Statistics*, 177-181.
- Bruce, B. (2020). Chapter 3 - Investing with exchange traded funds. In B. Bruce (Ed.), *Student-Managed Investment Funds* (2nd ed., pp. 91-128). Academic Press.981.
- Caiado, J. (2011). *Métodos de Previsão em Gestão-Com Aplicações em Excel*. Edições Sílabo, Lisboa.
- Campbell, J. Y., & Hentschel, L. (1992). No news is good news: An asymmetric model of changing volatility in stock returns. *Journal of Financial Economics*, 3(1), 123-152.
- Chen, J. H., & Tung, C. S. (2019). The Empirical Study of Volatility Asymmetry for FinTech ETF. *Journal of International and Global Economic Studies*, 12(2), 19-41.
- Chen, S., Zhang, W., Feng, X., & Xiong, X. (2020). Asymmetry of retail investors' attention and asymmetric volatility: Evidence from China. *Finance Research Letters*, 36, 101334.

- Chen, X. (2023). Comparing various GARCH-type models in the estimation and forecasts of volatility of S&P 500 returns during Global Finance Crisis of 2008 and COVID-19 financial crisis. In SHS Web of Conferences (Vol. 169, p. 01077). EDP Sciences. Parte superior do formulário
- Cheng, S., Deng, M., Liang, R., & Cao, Y. (2023). Asymmetric volatility spillover among global oil, gold, and Chinese sectors in the presence of major emergencies. *Resources Policy*, 82, 103579.
- Christie, A. (1982). The stochastic behavior of common stocks variances – Value, leverage, and interest rate effects. *Journal of Financial Economics*, 10, 407-432.
- Cubeddu, M. L. M., Culiuc, M. A., Fayad, M. G., Gao, M., Kochhar, M. K., Kyobe, M. A. J., & Zhang, M. Z. (2014). Emerging markets in transition: Growth prospects and challenges.
- Ding, S., Cui, T., Wu, X., & Du, M. (2022). Supply chain management based on volatility clustering: The effect of CBDC volatility. *Research in International Business and Finance*, 62, 101690.
- Dritsaki, C. (2017). An empirical evaluation in GARCH volatility modeling: Evidence from the Stockholm stock exchange. *Journal of Mathematical Finance*, 7(2), 366-390.
- Dritsaki, C. (2017). An empirical evaluation in GARCH volatility modeling: Evidence from the Stockholm stock exchange. *Journal of Mathematical Finance*, 7(2), 366-390.
- Dzieliński, M., Rieger, M.O., Talpsepp, T., 2018. Asymmetric attention and volatility asymmetry. *J. Empir. Finance* 45, 59–67.
- Engle, R., & White, H. (2004). Multivariate GARCH. *Econometric Theory*, 20(3), 894-922.
- Eom, C., Kaizoji, T., & Scalas, E. (2019). Fat tails in financial return distributions revisited: Evidence from the Korean stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 526, 121055.
- Fang, L., Chen, B., Yu, H., & Qian, Y. (2018). The importance of global economic policy uncertainty in predicting gold futures market volatility: A GARCH-MIDAS approach. *Journal of Futures Markets*, 38(3), 413-422.
- Figlewski, S., & Wang, X. (2000). Is the 'Leverage Effect' a leverage effect?. Available at SSRN 256109.
- Glosten, L., R. Jagannathan, and D. Runkle (1993), On the Relation Between Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks, *Journal of Finance* 48.
- Gujarati, D. N. (2022). *Basic econometrics*. Prentice Hall.
- Hasanhodzic, J., & Andrew, W. (2011). Black's leverage effect is not due to leverage. Available at SSRN 1762363.

- Hasanhodzic, J., Lo, A. W., 2011. Black's leverage effect is not due to leverage. Available at SSRN 1762363.
- Hayashi, F. (2000). *Econometrics*, Princeton University Press: Princeton.
- Heij, C., Heij, C., de Boer, P., Franses, P. H., Kloek, T., & van Dijk, H. K. (2004). *Econometric methods with applications in business and economics*. Oxford University Press.
- Hill, J. M., Nadig, D., & Hougan, M. (2015). *A comprehensive guide to exchange-traded funds (ETFs)*. CFA Institute Research Foundation.
- ing, S., Cui, T., Wu, X., & Du, M. (2022). Supply chain management based on volatility clustering: The effect of CBDC volatility. *Research in International Business and Finance*, 62, 101690
- Jarque, C. M. and Bera, A. K. (1987). "A Test for Normality of Observations and Regression Residuals," *International Statistical Review*, vol. 55, pp. 163–172.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159–178. doi:10.1016/0304-4076(92)90104-y
- Li, X., Li, D., Zhang, X., Wei, G., Bai, L., Wei, Y. (2021). Forecasting regular and extreme gold price volatility: the roles of asymmetry, extreme event, and jump. *J. Forecast.* 40, 1501–1523.
- Ling, S. and McAleer, M. (2003). Asymptotic Theory for a Vector ARMA-GARCH Model. *Econometric Theory*, 19(2), pp. 280-310.~
- Lu, L., Lei, Y., Yang, Y., Zheng, H., Wang, W., Meng, Y., ... & Zha, L. (2023). Assessing nickel sector index volatility based on quantile regression for Garch and Egarch models: Evidence from the Chinese stock market 2018–2022. *Resources Policy*, 82, 103563.
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer.
- MacKinnon, J.G. (1996) Numerical Distribution Functions for Unit Root and Cointegration Tests. *Journal of Applied Econometrics*, 11, 601-618.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., e Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*. John Wiley & Sons.
- Marszk, A., & Lechman, E. (2019). Exchange-Traded Funds: Concepts and Contexts. In A. Marszk & E. Lechman (Eds.), *Exchange-Traded Funds in Europe* (pp. 7-59). Academic Press. ISBN 9780128136393.
- Molyneux, P., & Valdez, S. (2016). *An Introduction to Global Financial Markets* (8th ed.). London: Palgarve.

- Nelson, D.B. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, 59(2), pp. 347-370.
- Rabemananjara, R. and Zakoian, J.M. (1993). Threshold ARCH models and asymmetries in volatility, *Journal of Applied Econometrics* 8 (1):31-49.
- Suleman, M. T., McIver, R., & Kang, S. H. (2021). Asymmetric volatility connectedness between Islamic stock and commodity markets. *Global Finance Journal*, 49, 100653.
- Tseng, J. J., & Li, S. P. (2011). Asset returns and volatility clustering in financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(7), 1300-1314.
- Wang, L., Zhao, C., Liang, C., & Jiu, S. (2022). Predicting the volatility of China's new energy stock market: Deep insight from the realized EGARCH-MIDAS model. *Finance Research Letters*, 48, 102
- Wooldridge, J. M. (2006). *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. Pioneira Thomson Learning.
- Zhao, Z., & Zhang, X. (2022). A continuous heterogeneous-agent model for the co-evolution of asset price and wealth distribution in financial market. *Chaos, Solitons & Fractals*, 155, 111543.

OUTRAS REFERÊNCIAS

SPDR S&P 500 ETF Trust (SPY)

Índice: <https://finance.yahoo.com/quote/SPY?p=SPY&.tsrc=fin-srch>

Profile: <https://finance.yahoo.com/quote/SPY/profile?p=SPY>

Historical data: <https://finance.yahoo.com/quote/SPY/history?p=SPY>

Holdings: <https://finance.yahoo.com/quote/SPY/holdings?p=SPY>

Vanguard Emerging Markets Stock Index Fund (VWO)

Índice: <https://finance.yahoo.com/quote/VWO/profile?p=VWO>

Profile: <https://finance.yahoo.com/quote/VWO?p=VWO&.tsrc=fin-srch>

Historical data: <https://finance.yahoo.com/quote/VWO/history?p=VWO>

Holdings: <https://finance.yahoo.com/quote/VWO/holdings?p=SPY>

Outras hiperligações

<https://advisors.vanguard.com/investments/products/vwo/vanguard-ftse-emerging-markets-etf>

<https://advisors.vanguard.com/investments/portfolio-construction-tools/compare-products/?FundId1=VWO>

<https://www.reuters.com/article/us-global-markets-year-idUSKBN0U11SK20151224>