

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

GUSTAVO MORAIS VIECHNIESKI

**TEORIA DE FINANÇAS COMPORTAMENTAIS E FATOS ESTILIZADOS DO
MERCADO DE AÇÕES:
UMA ABORDAGEM BASEADA EM AGENTES**

**PONTA GROSSA
2020**

GUSTAVO MORAIS VIECHNIESKI

**TEORIA DE FINANÇAS COMPORTAMENTAIS E FATOS ESTILIZADOS DO
MERCADO DE AÇÕES:
UMA ABORDAGEM BASEADA EM AGENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Yukio Higachi

**PONTA GROSSA
2020**

V656 Viechnieski, Gustavo Morais

Teoria de finanças comportamentais e fatos estilizados do mercado de ações: uma abordagem baseada em agente / Gustavo Morais Viechnieski. Ponta Grossa, 2020.

60 f.

Dissertação (Mestrado em Economia - Área de Concentração: Economia), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Yukio Higachi.

1. Finanças comportamentais. 2. Mercado de ações – fatos estilizados. 3. Agentes – modelos baseados. I. Higachi, Hermes Yukio. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Economia. III. T.

CDD: 330



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-
900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

GUSTAVO MORAIS VIECHNIESKI

TEORIA DE FINANÇAS COMPORTAMENTAIS E FATOS ESTILIZADOS DO MERCADO DE AÇÕES: UMA ABORDAGEM BASEADA EM AGENTES

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Economia, da Universidade Estadual de Ponta Grossa,
pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa, 30 de setembro de 2020.

Professor Dr. Hermes Yukio Higachi - Universidade Estadual de Ponta Grossa

Professora Dra Adriana Sbicca Fernandes – Universidade Federal do Paraná

Professor Dr. Renato Alves de Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa



Documento assinado eletronicamente por **Hermes Yukio Higachi, Professor(a)**, em
27/11/2020, às 09:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Renato Alves de Oliveira, Professor(a)**,
em 28/11/2020, às 12:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Sbicca Fernandes, Usuário
Externo**, em 30/11/2020, às 12:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site
<https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0310884** e o código
CRC **31952A4C**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por ter me possibilitado cursar esse mestrado e me dado força de vontade durante o curso.

A minha noiva, Mariah, que sempre esteve ao meu lado em todas as horas e me apoiou do início ao fim, com muito amor e paciência, te amo, VIDA!

A minha mãe, Jeanne, em que sem dúvida nenhuma a opção por fazer esse mestrado se deu por influência de sua formação acadêmica, pessoa ela em que me espelho profissionalmente e me orgulho do respeito que você conquistou na UEPG.

Ao meu pai, Elton, que me apoiou profissionalmente todas as vezes que o mestrado exigia um tempo a mais do programado.

Ao meu irmão, meu melhor amigo.

Agradeço também a todos os professores do curso em especial ao Prof. Dr Hermes pela paciência e dedicação na minha orientação, da qual saímos amigos, e à Profª Drª Cleise pelas conversas e conselhos para que eu pudesse seguir estudando.

RESUMO

VIECHNIESKI, Gustavo Morais. **Teoria de finanças comportamentais e fatos estilizados do mercado de ações**: uma abordagem baseada em agentes. 60 fl. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2020.

O objetivo é contribuir para uma explicação teórica baseada em finanças comportamentais de quatro fatos estilizados do mercado de ações que são considerados anomalias pela Hipótese de Mercados Eficientes (HME): excesso de volatilidade de preços e retornos em relação aos dividendos, distribuição em caudas pesadas e leptocúrticas de retornos da ação, aglomeração de volatilidade e capacidade de setups da análise técnica de gerar lucros anormais ajustados pelo risco. Duas são as contribuições da presente dissertação. A primeira foi formular um modelo baseado em agente de um mercado de ação artificial, acrescentando além de agentes fundamentalistas com racionalidade ilimitada e de agentes grafistas que realizam operações de compra e venda de ações seguindo a tendência de alta ou baixa de preços da ação, os agentes grafistas que realizam operações de compra e venda contra a tendência de preços da ação. No cenário 1, 100% ou 245 agentes no mercado de ações são fundamentalistas com expectativas racionais; no cenário 2, 168 agentes são agentes fundamentalistas e 77 são agentes grafistas seguidores de tendência; e no cenário 3, 168 são agentes fundamentalistas, 56 são agentes grafistas seguidores de tendência e 21 são agentes grafistas que realizam operações de compra e venda de ações contra a tendência. Supõe que os agentes grafistas possuem racionalidade limitada e usam a heurística da representatividade e da ancoragem no processo de julgamento e decisão de compra ou venda de ações, ao formular suas expectativas de preços calcada em indicadores da análise técnica: valores máximos e mínimos do preço da ação, média móvel simples, média móvel exponencial e índice de força relativa (IFR). Supõe-se ainda que os agentes grafistas sofrem do viés de atribuição ou do excesso de pessimismo. A segunda contribuição foi formular e aplicar uma metodologia de *backtest* para verificar a possibilidade de setups da análise técnica serem capazes de gerar lucros anormais ajustado pelo risco. Os resultados das simulações dos três cenários mostram que a presença do agente grafista que opera contra a tendência de alta ou baixa do preço da ação é fundamental para gerar e explicar os quatro fatos estilizados do mercado de ações.

Palavras-Chaves: Finanças Comportamentais; Fatos Estilizados do Mercado de Ações; Modelo Baseado em Agentes.

ABSTRACT

VIECHNIESKI, Gustavo Morais. **Behavioral finance theory and stylized facts of the stock market: An agent-based approach.** 60 sheets. Thesis (Master's degree in Economic Sciences). State University of Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2020.

The goal is to contribute to a theoretical explanation based in behavioral finances of four stylized facts considered anomalies in the stock market by the Efficient Market Hypothesis (EMH): high volatility of prices and profits relating to the dividends, heavy-tailed distribution and leptokurtic of returns of the shares, volatility agglomeration and the ability of generation of abnormal profits by setups of technical analysis, adjusted to the risk. The contributions of the present thesis are two: The first, the formulation of an agent-based model in an artificial stock market, adding alongside the fundamentalist and graphist agents operating with the flow of tendency, graphist agents who operate against the tendency. In the first scenario, 100% or 245 agents of the stock market being fundamentalists with rational expectations; in the second, 168 are fundamentalists and 77, graphist agents operating with the tendency and in the third, 168 are fundamentalists, 56 are graphist agents following the tendency and 21 are graphists operating against the tendency. Supposedly, the graphists possess unlimited rationality and use the representativity heuristics, along with the anchorage one in the judgment and buy and sell processes, by creating their expectations based on indicator of the technical analysis: maximum and minimum prices of the share, moving simple average, moving exponential average and relative strength index (RSI). The graphist agents also suffer from the attribution bias or excessive pessimism. The second contribution was the formulation and application of a backtest methodology to verify the possibility of the generation of abnormal profits by technical analysis setups, adjusted by the risk. The results of the simulations on the three different scenarios show that the presence of the graphist agent operating against the tendency is fundamental to generate and explain the four stylized facts of the stock market.

Keywords: Behavioral Finance; Stock Market; Agent Based Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação entre topos e quedas com suas médias e tendências. Em verde são demonstradas as tendências de alta e em vermelho, as de queda.....	20
Figura 2 - Regularização exponencial a 10%.....	22
Figura 3 - Tabela de preços das ações para consideração no cálculo do IFR (Modelo de Wilder).....	24
Figura 4 - Tabela de preços das ações para consideração no cálculo do IFR (Modelo de Hayden).....	25
Figura 5 - Estratégia de negociação IFR.....	26
Figura 6 - Divergência de tendência e momentos (Ação - Intel).....	27
Figura 7 - Histograma da distribuição de retornos em cauda pesada do índice S&P500.....	29
Figura 8 - Autocorreção Linear de Retornos do S&P500.....	29
Figura 9 - Autocorrelação Não Linear de Retornos Absolutos do S&P500.....	30
Figura 10 - Volatilidades nas ações da Petrobrás no período dos anos 2000 a 2019.....	30
Figura 11 - Retorno cumulativo aplicado a duas estratégias de negociação com ações da empresa Magazine Luiza (MGLU3).....	31
Figura 12 - Comparação Risco/Retorno – Ação Magazine Luiza.....	32
Figura 13 - Volatilidade de preços e dos retornos no cenário 1.....	46
Figura 14 - Autocorrelação dos retornos em log no cenário 1.....	47
Figura 15 - Autocorreção linear dos retornos absolutos no cenário 1.....	47
Figura 16 - Distribuição dos Retornos no cenário 1.	48
Figura 17 - <i>Setup da estratégia buy and hold</i> no cenário 1.....	48
Figura 18 - <i>Setup da análise técnica cruzamento de médias</i> no cenário 1.....	48
Figura 19 - Volatilidade dos preços e retornos no cenário 2.....	50
Figura 20 - Autocorrelação dos retornos em <i>log</i> no cenário 2.....	50

Figura 21 - Autocorreção linear dos retornos absolutos no cenário 2.....	51
Figura 22 - Distribuição dos Retornos no cenário.....	51
Figura 23. <i>Setup</i> da estratégia <i>buy and hold</i> no cenário 2.....	52
Figura 24 - <i>Setup</i> da análise técnica cruzamento de médias no cenário 2.....	52
Figura 25 - Volatilidade de preços e retornos no cenário 3.....	52
Figura 26 - Autocorrelação dos retornos em <i>log</i> no cenário 3.....	53
Figura 27 - Autocorreção linear dos retornos absolutos no cenário 3.....	53
Figura 28 - Distribuição dos Retornos no cenário 3.....	54
Figura 29 - <i>Setup</i> da estratégia <i>buy and hold</i> no cenário 3.....	54
Figura 30 - <i>Setup</i> da análise técnica cruzamento de médias no cenário 3.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores das duas estratégias a partir do cálculo do Índice de Sharpe no cenário 1.....	49
Quadro 2 - Valores das duas estratégias a partir do cálculo do Índice de Sharpe no cenário 2.....	51
Quadro 3 - Valores das duas estratégias a partir do cálculo do Índice de Sharpe no cenário 3.....	55
Quadro 4 - Comparativo e classificação dos valores dos cenários em cada estratégia a partir do cálculo do Índice de Sharpe.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABM	<i>Agent based modeling</i> (Modelagem Baseada em Agentes)
AD	Total de perdas no preço
AU	Total de ganhos no preço
HME	Hipótese dos Mercados Eficientes
IFR	Índice de Força Relativa
IS	Índice de Sharpe
LSD	<i>Laboratory for Simulation Development</i>
MME	Média Móvel Exponencial
MGLU3	Código das ações da empresa Magazine Luiza na B3
NASDAQ	<i>National Association of Securities Dealers Automated</i> <i>Quotations Exchange</i> (Associação Nacional de Troca de Cotações Automatizadas de Corretores de Valores Mobiliários)
NYSE	<i>New York Stock Exchange</i> (Bolsa de Valores de Nova York)
RSI	<i>Relative Strength Index</i> (Índice de Força Relativa)
RS	<i>Relative Strength</i> (Força Relativa)
S&P500	<i>Standard and Poor's 500</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 CONCEITOS DE FINANÇAS COMPORTAMENTAIS.....	14
2.1.1 Os Limites da Arbitragem	14
2.1.2 Heurísticas da Representatividade, da Disponibilidade e da Ancoragem	15
2.1.3 Viés de atribuição, de pessimismo e <i>Overreaction</i>	16
2.2 CONCEITOS DA ANÁLISE TÉCNICA	18
2.2.1 Características e Implicações Comportamentais da Análise Técnica	18
2.2.2 Indicadores da Análise Técnica.....	19
2.2.2.1 Máximo e mínimo do preço da ação.....	19
2.2.2.2 Média Móvel Simples	20
2.2.2.3 Média Móvel Exponencial.....	21
2.2.2.4 Índice de Força Relativa (IFR).....	23
2.2.3 Combinação do Uso de Média Móvel Exponencial Elfr.....	26
2.3 FATOS ESTILIZADOS DO MERCADO DE AÇÕES	27
2.4 <i>BACKTEST</i> DA ESTRATÉGIA DA ANÁLISE TÉCNICA E <i>BUY AND HOLD</i> ..	31
2.5 MODELOS BASEADOS EM AGENTE DO MERCADO DE AÇÕES.....	32
3 METODOLOGIA	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Em seu artigo clássico, Fama (1970) define um mercado financeiro eficiente na forma fraca, semiforte e forte. No primeiro caso, informações históricas já estariam refletidas nos preços; no segundo, informações públicas em geral, e no terceiro, informações privadas. A Hipótese de Mercado Eficiente (EMH) na forma fraca postula que o processo gerador de dados de retornos em logs das ações é um processo estocástico *random walk*, ao supor que: (i) os retornos das ações são independentes e (ii) identicamente distribuídos. Logo, a HME na sua forma fraca possui várias limitações teóricas e empíricas:

Pelo Teorema do Limite Central, a distribuição de retornos e de preços convergem, para amostras muito grandes, para a distribuição de probabilidade normal.

Apesar de explicar um fato estilizado do mercado de ações, a ausência de autocorrelação de retornos em logs, considera os demais fatos estilizados como anomalias: (a) o excesso de volatilidade de retornos; (b) a distribuição caldas pesadas e leptocúrticas de retornos; (c) a aglomeração de volatilidade caracterizada pela queda lenta e gradual da autocorrelação de retornos absolutos; (d) os retornos anormais ajustados pelo risco gerados pelos indicadores e setups da análise técnica (BERTELLA *et. al.* 2017; HIGACHI *et. al.* 2020; KAUFMAN, 2013).

Por sua vez, a Teoria de Finanças Comportamentais proporciona uma explicação teórica para os cinco fatos estilizados dos mercados de ações simultaneamente calcada em dois pilares teóricos: que há limites a arbitragem e a psicologia do investidor com racionalidade limitada na formação de crenças e preferências. Uma linha de pesquisa em finanças comportamentais tem aplicado a abordagem baseada em agentes para modelar as decisões e interações complexas e não lineares entre agentes racionais e não racionais, com foco nos fatos estilizados e anomalias do mercado de ações.

Bertella *et. al.* (2017), usando um modelo baseado em agentes, examina a dinâmica das flutuações de preços e de suas taxas de retorno em um mercado de ações artificial composto de agentes fundamentalistas e agentes grafistas com e sem confiança. Eles descobriram que os agentes grafistas com viés de atribuição e excesso de confiança são a fonte do excesso de volatilidade e das caudas pesadas e curtose positiva da distribuição da taxa de retorno. Outra descoberta interessante

é que o preço da ação possui uma relação de longo prazo com o grau de confiança e o preço da ação causa no sentido de Granger o grau de confiança, reproduzindo uma relação empírica entre o S&P500 e o índice de confiança do mercado de ações. Apesar dos avanços teóricos, Bertella *et. al.* (2017) não foram capazes de explicar três fatos estilizados: a ausência de autocorrelação nos retornos, a aglomeração de volatilidade e o relativo poder preditivo de setups da análise técnica.

Higachi *et. al.* (2020), aumentando a diversidade e o realismo de agentes grafistas do ABM de Bertella *et. al.* (2017), e ao supor que os agentes grafistas com viés de atribuição ou excesso de pessimismo usam a heurística da ancoragem no processo de julgamento e formação de suas expectativas de preços, representada pelos indicadores da análise técnica como valores máximos e mínimos do preço da ação, média móvel simples, média móvel exponencial e índice força relativa (IFR); contribui para uma explicação teórica calcada em Finança Comportamental de quatro dos cinco fatos estilizados considerados anomalias pela HME: ausência de autocorrelação linear nos retornos, excesso de volatilidade, caldas pesadas e aglomeração de volatilidade. Porém, apesar dos avanços teóricos em relação a Bertella *et. al.* (2017) e em Higachi *et. al.* (2020) não há presença de agentes grafistas que operam contra a tendência e um dos cinco fatos estilizados reportados nesta introdução não foi abordado: o relativo poder preditivo de *setups* ou estratégias de compra e venda de ações.

O objetivo é contribuir para uma explicação teórica calcada em finanças comportamentais e em um Modelo Baseado em Agentes (ABM), de cinco fatos estilizados do mercado de ações, quatro deles considerados anomalias pela Hipótese dos Mercados Eficientes (HME). Duas são as contribuições desta dissertação: A primeira é formular um ABM de um mercado de ações artificial, adicionando agentes grafistas que operam contra a tendência de alta ou de queda do preço da ação no ABM de Higachi *et. al.* (2020), e que usam o oscilador da análise técnica, o índice de força relativa ou IFR, no sentido de identificar pontos de reversão da tendência de preços. Supõe-se que os agentes grafistas seguidores de tendência e aqueles que operam contra a tendência usam a heurística da representatividade e da ancoragem no processo de julgamento e decisão de compra e venda de ações, ao formular suas expectativas de preços calcada em indicadores da análise técnica. Supõe-se ainda que os agentes grafistas sofrem do viés de atribuição ou do excesso de pessimismo. Outra contribuição foi formular e aplicar

uma metodologia de *backtest* para verificar a possibilidade de *setups* da análise técnica serem capazes de gerar lucros anormais ajustado pelo risco.

Esta dissertação está estruturada em cinco seções, além desta introdução, sendo que na primeira seção - Revisão de Literatura, aborda-se a literatura sobre os conceitos de Finança Comportamental e da Análise Técnica, utilizada na presente dissertação. A segunda seção - Metodologia, reporta-se as fontes de dados, as técnicas de análise e os softwares usados na elaboração de análises estatísticas e de gráficos. Na terceira - Resultados e Discussão, são descritos e analisados os fatos estilizados emergentes do mercado de ações artificial nos três cenários de simulação, e comparados aos fatos estilizados de mercado reais de ações. Na última seção, descrevem-se as conclusões do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITOS DE FINANÇAS COMPORTAMENTAIS

2.1.1 Os Limites da Arbitragem

De acordo com a Hipótese de Mercados Eficientes (HME), em um mercado de ações no qual os agentes são racionais e não há fricções, o preço da ação é inexoravelmente igual a seu valor fundamental: soma descontada do fluxo de caixa futuro a uma taxa de desconto que é consistente com uma especificação de preferências normativamente aceitável. Em um mercado eficiente, devido a operações de arbitragem sem risco realizadas por agentes racionais, não há possibilidade da existência de estratégias de investimento, seja de *valuation* ou da análise técnica, que permitam um retorno anormal ajustado pelo risco.

O argumento é que se o preço de uma ação sofre uma redução e torna-se menor do que o seu preço fundamental, cria-se uma oportunidade atrativa que os agentes racionais deverão inexoravelmente explorar. Os agentes deverão comprar esta ação e para fazer *hedge*, vender a descoberto outra ação substituta com fluxo de caixa similar: a maior pressão compradora deverá causar o retorno do preço da ação que sofreu queda para o seu valor fundamental (BARBERIS; THALER, 2005).

Por sua vez, a Finança Comportamental argumenta que algumas características de preços de ativos de risco como ações são mais plausivelmente interpretados como desvios do valor fundamental, e que estes desvios são gerados pela presença e interações de agentes irracionais ou com racionalidade limitada com agentes racionais. A teoria da arbitragem limitada mostra que no mercado de ações se os agentes irracionais causam desvios do valor fundamental, agentes racionais frequentemente serão incapazes de fazer qualquer coisa.

O argumento é que quando há um desvio do valor fundamental, uma má precificação, não é criada uma oportunidade de investimento atrativo. Estratégias projetadas por agentes racionais para explorar e corrigir a má precificação podem ser tanto arriscadas quanto custosas, tornando-as não viáveis e arriscadas devido a presença do risco fundamental quando o próprio preço fundamental da ação pode sofrer redução e não há uma ação substituta perfeita para fazer *hedge*.

Além da existência do risco do *trader* irracional ou aleatório quando a má precificação explorada pelo arbitrador piora no curto prazo causado pelo excesso de pessimismo de *traders* irracionais ou aleatórios. Por outro lado, os custos de implementação de explorar a má precificação de ações são os custos de transações como as taxas de corretagem, emolumentos, taxas de custódia, impacto no preço ação, a taxa de juros pagos para o doador das ações, e custo de liquidez associado a ausência de ações para realizar operações de venda a descoberto.

Em suma, para as Finanças Comportamentais, a existência de elevados custos e riscos de operações de arbitragem em mercados de ações reais, conduz o afastamento do preço da ação do seu valor fundamental e a persistir ao longo do tempo: a má precificação não é corrigida conforme postula a HME.

2.1.2 Heurísticas da Representatividade, da Disponibilidade e da Ancoragem

Um componente fundamental de qualquer modelo de mercado financeiro e de ações é uma especificação de como os agentes formulam expectativas ou crenças. A Teoria de Finança Comportamental calcada nas descobertas da psicologia cognitiva propõe que os *traders* irracionais ou com racionalidade limitada formulam suas expectativas baseados na heurística da ancoragem, da representatividade e da disponibilidade (BARBERIS; THALER, 2005). Na presente dissertação o foco será a heurística da ancoragem e da representatividade.

Kahneman e Tversky (1979) mostram que quando uma pessoa tenta determinar a probabilidade que um conjunto de dados “A” foi gerado por um modelo B, ou que um objeto A pertence a uma classe “B”, eles em geral usam a heurística da representatividade: as pessoas avaliam a probabilidade pelo grau em que “A” reflete as características essenciais de “B”.

Na maioria das vezes, a representatividade é uma heurística útil para o processo de julgamento, a formação de crenças e expectativas, ao tornar possível o pensamento rápido em situações de incerteza ou complexidade; entretanto, pode gerar severos vieses ou erros sistemáticos de comportamento: negligência da taxa base violando a Lei de Bayes e a negligência do tamanho da amostra. O viés da amostra pequena significando nos casos em que as pessoas não sabem inicialmente o processo gerador dos dados, tendem a inferi-lo muito rapidamente sobre a base de muitos poucos pontos de dados. Esta crença de que mesmo

pequenas amostras irão refletir as propriedades da população é às vezes conhecida como a “lei dos pequenos números (RABIN, 2002).

Kahneman e Tversky (1979) argumentam também que quando as pessoas formulam estimativas, frequentemente iniciam com algum valor inicial arbitrário, e então ajustam a partir deste ponto de referência ou ancora. Evidência experimental mostra que o ajustamento é em geral insuficiente, desde que as pessoas “ancoram” muito sobre o valor inicial.

Em um experimento, sujeitos foram questionados a estimar a percentagem entre 0 e 100 de países das Nações Unidas que são africanos. Os participantes do experimento deveriam responder se sua estimativa era maior ou menor do que um número gerado aleatoriamente entre 0 e 100. Suas estimativas foram significativamente afetadas pelo número aleatório inicial: os participantes que compararam suas estimativas a 10, estimaram 25%, enquanto que os participantes que compararam a 60, estimaram 45% (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979).

Por sua vez, Higachi *et. al.* (2020), para explicarem os principais fatos estilizados do mercado de ações formulam um modelo baseado de agente de mercado de ações artificial, supondo que os *traders* grafistas usam a heurística da ancoragem para formular suas expectativas de preços da ação, cujos pontos de referência ou ancoras resultam dos indicadores da análise técnica: valores máximos e mínimos do preço da ação, média móvel simples e média móvel exponencial.

2.1.3 Viés de atribuição, de pessimismo e *Overreaction*

Uma manifestação relevante da heurística da representatividade é *overreaction*. Assim, Barberis e Thaler (2005), propuseram que o excesso de volatilidade de preços e retornos de ações em relação aos dividendos. Pode ser derivado de uma aplicação direta da versão da representatividade conhecida como lei dos números pequenos, em que pessoas esperam que amostras pequenas possam refletir as propriedades da população. Se o investidor observa muitos períodos de bons lucros da firma, a lei de números pequenos leva-os a acreditar que o crescimento dos lucros deverá a continuar a ser alto no futuro. Esta crença de aumento da taxa de crescimento de dividendos pode levar à reação exagerada na compra de ações da firma e causar um aumento de preços da ação relativa aos dividendos, adicionando a volatilidade de retornos; e quando as expectativas forem

frustradas podem causar uma reação exagerada de venda de ações da firma, acrescentando a volatilidade de retornos.

Barberis e Thaler (2005) propuseram ainda que a relação entre preço e dividendo, além dos retornos das ações, também poderiam ser excessivamente voláteis devido à extrapolação de retornos passados para o futuro pelo investidor quando forma suas expectativas de retornos futuros. Esta história poderia novamente ser baseada sobre a representatividade e a lei dos pequenos números.

Daniel *et. al.* (2005) formulam uma explicação teórica alternativa ao fenômeno da reação exagerada ou *overreaction* e da reação lenta e gradual ou *undereaction* do preço das ações, calcado nas definições de investidor com excesso de confiança e na variação da confiança surgindo do viés de atribuição. Argumentam que o preço da ação sofre reação exagerada a informações privadas e reação lenta a informações públicas. Também mostram que este padrão de reação exagerada e sua correção é consistente com o momentum de preços caracterizada pela autocorrelação positiva em retornos de ações para pequenas defasagens, a reversão ao preço fundamental a médio e longo prazo caracterizada pela autocorrelação negativa em retornos de ações para grandes defasagens, e com o excesso de volatilidade incondicional.

Para isso, define-se um indivíduo com o viés de excesso de confiança como um que superestima a precisão do sinal de informação privada, mas não da informação publicamente recebida; e o indivíduo que sofre do viés de auto atribuição como um que atualiza sua confiança em suas habilidades de uma forma viesada. Estes indivíduos atribuem a eventos que confirmam a validade de suas ações a sua alta habilidade, e eventos que desconfirmam a ação a ruído externo ou sabotagem (noção de dissonância cognitiva).

Com efeito, os indivíduos ou investidores que sofrem do viés de auto atribuição e do excesso de confiança podem, diante de fatos relevantes ou não no mercado de ações, mas que venham a confirmar suas informações privadas, aumentar o seu grau de confiança em suas crenças e expectativas, assim levando a aumentar a compra ou venda de ações de forma exagerada.

Em suma, outras fontes de *overreaction* do preço da ação são o viés de atribuição e o de excesso de confiança dos investidores em suas habilidades de formular previsões sobre o preço futuro da ação. Além disso, em mercados de ações reais a reação exagerada a fatos relevantes (positivos ou negativos) exógenos ou

endógenos ao mercado de ações ou mesmo a choques idiossincráticos ao nível da firma de curto prazo como o crescimento temporário dos dividendos. pode ser resultado de efeitos de sinergia entre todos os vieses comportamentais. Entre eles, o viés da lei dos pequenos números, do excesso de confiança e da auto atribuição. Por último, o fenômeno da *overreaction* ao gerar momentum de preços de ações explica e justifica o relativo poder preditivo de estratégias de valor (*valuation* ou investimento em valor) e de estratégias da análise técnica.

2.2 CONCEITOS DA ANÁLISE TÉCNICA

2.2.1 Características e Implicações Comportamentais da Análise Técnica

No mercado de ações, há o uso de várias técnicas para a formulação de previsões do preço futuro da ação: a análise fundamentalista, a análise gráfica/técnica e a análise de fluxo de ordens de compra e venda ou *tape reading*.

Devido a sua relativa simplicidade em relação a análise fundamentalista e ao *tape reading*, os indicadores da análise técnica disponível em *Home Brokers* e plataformas profissionais, tem sido aplicado para formular previsões de preço das ações por agentes grafistas/técnicos com racionalidade limitada e que seguem as heurísticas da representatividade e da ancoragem (SANTANA, 1997).

A premissa da análise técnica é a presença de volatilidade ou oscilações dos preços dos ativos nos períodos corrente e futuro e sua correlação com seus movimentos em períodos passados. Desta forma, os agentes grafistas ou técnicos utilizam vários indicadores de tendência e de oscilação que buscam explorar a relação entre estes dados para formular expectativas futuras para os preços, com a série histórica de dados do ativo (SANTANA, 1997).

A Análise Técnica é compreendida por Kaufman (2013) como uma avaliação sistemática de preço, volume e amplitude para fins de previsão. Uma modelagem mais básica pode utilizar apenas um gráfico de barras e uma régua, enquanto a mais complexa faz uso de todo o poder de cálculo ao alcance do agente, ilimitado a partir dos avanços computacionais que oferecem a cada dia funções mais complexas que atendam aos interesses do agente: automatização de ordens de compras e vendas, e uso de metodologias de inteligência artificial.

Por sua vez, os agentes grafistas/técnicos podem ainda ser identificados como seguidores ou contrários às tendências de preços das ações para a compra e venda de ações. Quando adotam postura seguidores de tendência ou contrária às tendências de alta ou de queda do preço da ação, estes agentes grafistas adotam no processo de julgamento e decisão, a heurística da ancoragem e representatividade, desde que calcados em indicadores de máximos, mínimos, médias móvel simples, média móvel exponencial e índice de força relativa (IFR) (BERTELLA et al, 2017; HIGACHI et al. 2020).

2.2.2 Indicadores da Análise Técnica

2.2.2.1 Máximo e mínimo do preço da ação

Para os agentes grafistas, a captura e análise de tendências de preços são fundamentais, havendo alguns indicadores que facilitam esse trabalho, como as suavizações por meio de médias, e índices de máximos e mínimos do preço da ação. De acordo com a teoria de Dow, topos e fundos ascendentes do preço da ação ou crescimentos sequenciais nas trajetórias de preços representam momentos de alta; enquanto que, por sua vez, topos e fundos descendentes ou sequências nas quedas caracterizam momentos de baixa (KAUFMAN, 2013).

Assim, um dos indicadores de agentes grafistas para identificar a tendência de alta ou de baixa são os máximos e mínimos de preços, sendo que a expectativa de preço futuro do ativo é maior ou menor de acordo com o intervalo de tempo pré-estabelecido.

Portanto, a expectativa do agente grafista, com o indicador de preço máximo, pode ser descrita pela equação:

$$E_{(p_{t+1})} = \text{Max}(P_t + P_{t-1} + \dots + P_{t-n}) \quad (1)$$

E desta forma, de acordo com o indicador de preço mínimo:

$$E_{(p_{t+1})} = \text{Min}(P_t + P_{t-1} + \dots + P_{t-n}) \quad (2)$$

Na Figura 1 é possível visualizar a tendência de alta e queda de preços:

Figura 1 - Comparação entre topos e quedas com suas médias e tendências. Em verde são demonstradas as tendências de alta e em vermelho, as de queda.



Fonte: Kaufman (2013)

2.2.2.2 Média Móvel Simples

A média móvel simples é a técnica mais comum conhecida para suavização do preço e redução do ruído no mercado financeiro. Para este método o número de elementos utilizados sempre será o mesmo, porém o intervalo de tempo avança. Observando uma série de preços $p_0, p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, uma média móvel medida sobre o número mais recente de preços n em um dado momento do tempo t , representa-se pela equação:

$$MA_t = \frac{p_{t-n+1} + p_{t-n+1} + \dots + p_t}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t p_i, \quad n \leq t \quad (3)$$

Sendo a média móvel simples do período atual a média aritmética de n períodos passados, a cada mudança de período se adiciona a média o preço do período em que ela avançou, ao mesmo tempo que se descarta o último preço (p_{t-n+1}), utilizado no cálculo da média passada. Um exemplo de média móvel simples com cinco e seis períodos é descrito de acordo com Kaufman (2013) nestas equações:

$$MA5 = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5}{5} \quad (4)$$

$$MA6 = \frac{p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6}{5} \quad (5)$$

Assim, em uma média móvel simples, cada preço adicionado ou descartado, teria uma influência em 20% sobre o valor da média de tal série. Essa técnica, contudo, fica suscetível à influência de pontos máximos e mínimos tanto para adição do novo preço como para descarte do último. Desta maneira, quanto maior o comprimento da média móvel simples, menor será a influência dos preços sobre ela. No ABM do mercado de ações da presente dissertação, seus comprimentos deverão variar de 10, 20 e 30 períodos, para formulação de memórias diferentes e assim gerar expectativas diferentes.

2.2.2.3 Média Móvel Exponencial

A média ou regularização exponencial, por sua vez, é mais complexa que a média simples, porém possui algumas facilidades, como a necessidade apenas do preço corrente (p_t), do último valor regularizado exponencialmente (MME_{t-1}) e da constante de regularização (ae) (uma porcentagem), para a computação de um novo valor, sua característica principal é a possibilidade de interpretação do passado imediato para a previsão do futuro imediato.

A descrição dos termos da progressão geométrica, assim, fica:

$$a^0, a^1, a^2, a^3, \dots, a^n$$

Tornando-se os fatores de ponderação de uma média móvel ponderada tem-se a equação:

$$W_t = \frac{w_1 p_{t-n+1} + w_2 p_{t-n+2} + \dots + w_{n-1} p_{t-1} + w_n p_t}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (6)$$

Invertendo a ordem da ponderação para dar mais influência ao valor mais recente do que o valor mais antigo, sendo $w_{n-1} = a^2$, $w_{n-2} = a^3$ e assim por diante, considera-se $a = \frac{1}{2}$, é chamada de regularização a 50%, ficando assim a sequência de fatores:

$$1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots, \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

Observa-se que $a^0 = 1$ e $a^1 = a$ e isso demonstra a maior importância a valores mais recentes para com valores mais antigos. Assim substituindo a ponderação geométrica pela média ponderada:

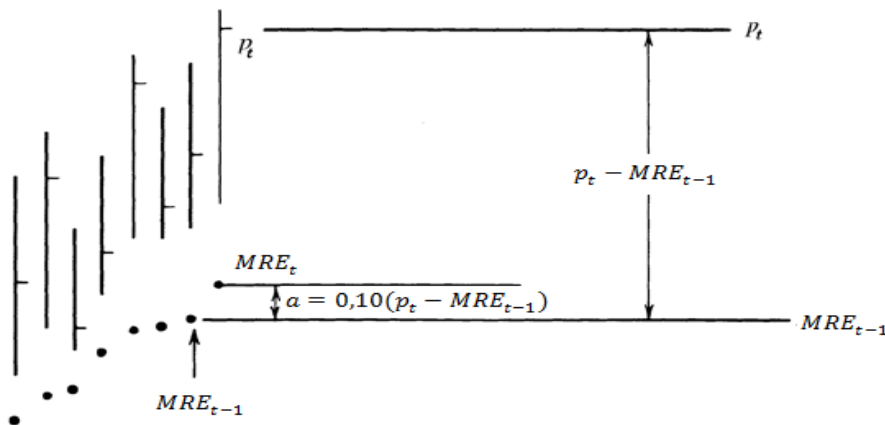
$$MME_t = \frac{a^n P_{t-n+1} + a^{n-1} P_{t-n+2} + \dots + a^2 P_{t-1} + a P_t}{a^n + a^{n-1} + \dots + a^2 + a} \quad (7)$$

Trazendo essa regularização para sua forma mais comum, tem-se:

$$MME_t = MME_{t-1} + a(p_t - MME_{t-1}) \quad (8)$$

sendo MME_t e MME_{t-1} = valor atual e passado da regularização exponencial, expressado na Figura 2,

Figura 2 - Regularização exponencial a 10%.



p_t = preço atual

a = constante de regularização, $0 \leq a \leq 1$.

Fonte: Kaufman (2013),

Notas: substituindo a notação de E_t por MME_t , para não haver confronto de parâmetros para esse trabalho.

Para facilitar a visualização do efeito da regularização em $a = 0,10$ e aproximando-o da linha de tendência exponencial do preço atual em 10% da diferença entre o preço e o valor da linha de tendência anterior, a Figura 2 exemplifica uma regularização a 10%, a distância entre o preço novo p_t e a linha de tendência anterior MME_{t-1} é $p_t - MME_{t-1}$. O novo valor da linha de tendência é 10% mais próximo do preço porque a distância entre p_t e MME_{t-1} é reduzida em 10%. processo se inicia deixando $MME_1 = p_1$ e calculando os valores pela equação:

$$MME_2 = MME_1 + a(p_2 - MME_1) \quad (9)$$

Transformando um período de dias na constante de regularização c que demonstrada por Hutson (1984), tem-se a equação.

$$c = \frac{2}{n+1} \quad (10)$$

em que, n é o número equivalente de dias na média móvel simples (ponderada linearmente). Sua fórmula geral é:

$$c_p = 1 - \left(1 - \frac{2}{n+1}\right)^{\frac{1}{p}} \quad (11)$$

Assim, a fórmula geral da média móvel exponencial que segue a anotação utilizada por Kaufman (2013), pode ser assim descrita:

$$E_{(p_{t+1})} = SPema_{t-1} + \frac{2}{(n+1)} (P_t - SPema_{t-1}) \quad (12)$$

Considerando $E_{(p_{t+1})}$ a expectativa do preço de um ativo do agente grafista no período seguinte, $SPema_{t-1}$ sendo a média móvel exponencial no período passado (MME_{t-1}), P_t é o preço do ativo no período atual, $\frac{2}{(n+1)}$ e a constante de regularização da média em n períodos.

2.2.2.4 Índice de Força Relativa (IFR)

O Índice de Força Relativa (IFR), ou *Relative Strength Index (RSI)* foi descrito pela primeira vez no livro *New Concepts in Technical Trading Systems*, de Wilder (1978) como uma ferramenta para a interpretação do preço da ação em relação ao gráfico diário de barras e tem como vantagens a maior clareza nos preços máximo e mínimo, observação rápida e facilitada do suporte e resistência, e antecipação da observação da reversão de mercado.

Foi constatado por Hayden (2004) que a aplicação do IFR pelo agente possibilita antecipar a alta do preço da ação em um mercado sobrevendido, ou a queda do preço da ação em um mercado sobrecomprado.

O IFR formulado por Wilder (1978) representa uma razão entre ganhos médios dos preços no período recente e prejuízos dos preços no mesmo período, estabelecendo uma comparação entre forças positivas e negativas contidas nesse ativo em uma escala de 0 a 100.

Sua explicação matemática, seguindo a mesma linha de pensamento que pode ser encontrada em Wilder (1978), Hayden (2004) e Kaufman (2013), é expressa desta forma:

$$RSI = 100 - \left(\frac{100}{1 + RS} \right) \quad (13)$$

em que: RSI é o índice de força relativa

RS é a força relativa

O RS consiste em calcular a média dos ganhos e das perdas dos ativos, e os supracitados autores utilizaram um comprimento de memória para o cálculo da média de 14 períodos onde as oscilações se dão pela diferença do valor do ativo na abertura do mercado comparado com o fechamento do mesmo (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Tabela de preços das ações para consideração no cálculo do IFR (Modelo de Wilder)

(1) DATE	(2) CLOSE	(3) UP	(4) DOWN	(5) UP AVG	(6) DOWN AVG	(7) (5) ÷ (6)	(8) 1 + (7)	(9) 100 ÷ (8)	(10) 100 - (9)
1	54.80								
2	56.80	2.00							
3	57.85	1.05							
4	59.85	2.00							
5	60.57	.72							
6	61.10	.53							
7	62.17	1.07							
8	60.60		1.57						
9	62.35	1.75							
10	62.15		.20						
11	62.35	.20							
12	61.45		.90						
13	62.80	1.35							
14	61.37		1.43						
15	62.50	1.13/11.80	1.40	.84	.29	2.90	3.90	25.64	74.36
16	62.57	.07		.79	.27	2.93	3.93	25.45	74.55
17	60.80		1.77	.73	.38	1.92	2.92	34.25	65.75
18	59.37		1.43	.68	.46	1.48	2.48	40.32	59.68
19	60.95	.98		.70	.43	1.63	2.63	38.02	61.98
20	62.35	2.00		.79	.40	1.98	2.98	33.56	66.44
21	62.17		.18	.73	.38	1.92	2.92	34.25	65.75
22	62.55	.38		.71	.35	2.03	3.03	33.00	67.00
23	64.55	2.00		.80	.32	2.50	3.50	28.57	71.43
24	64.37		.18	.74	.31	2.39	3.39	29.50	70.50
25	65.80	.93		.75	.29	2.59	3.59	27.86	72.14
26	64.42		.88	.70	.33	2.12	3.12	32.05	67.95
27	62.90		1.52	.65	.42	1.55	2.55	39.22	60.78
28	61.60		1.30	.60	.48	1.25	2.25	44.44	55.56
29	62.05	.45		.59	.45	1.31	2.31	43.29	56.71
30	60.05		2.00	.55	.56	.98	1.98	50.51	49.49
31	59.70		.35	.51	.55	.93	1.93	51.81	48.19
32	60.90	1.20		.56	.51	1.10	2.10	47.62	52.38
33	60.25		.65	.52	.52	1.00	2.00	50.00	50.00
34	58.27		1.98	.48	.62	.77	1.77	56.50	43.50
35	58.70	.43		.48	.58	.83	1.83	54.64	45.36
36	57.72		.98	.45	.61	.74	1.74	57.47	42.53
37	58.10	.38		.45	.57	.79	1.79	55.87	44.13
38	58.20	.10		.43	.53	.81	1.81	55.25	44.75

Fonte: Wilder (1978)

Figura 4 - Tabela de preços das ações para consideração no cálculo do IFR (Modelo de Hayden)

	Close	Chg	Gain	Loss	AvgGain	AvgLoss	RS	RSI
	1161.32							
1	1161.28	0.0400	0	0.0400				
2	1161.39	0.1100	0.1100	0				
3	1160.75	-0.6400	0	0.6400				
4	1160.71	-0.0400	0	0.0400				
5	1160.79	0.0800	0.0800	0				
6	1160.16	0.6300	0	0.6300				
7	1159.67	-0.4900	0	0.4900				
8	1159.74	0.0700	0.0700	0				
9	1159.18	-0.5600	0	0.5600				
10	1158.99	-0.1900	0	0.1900				
11	1159.24	0.2500	0.2500	0				
12	1158.93	-0.3100	0	0.3100				
13	1158.94	0.0100	0.0100	0				
14	1158.77	-0.1700	0	0.1700	0.0371	0.2136	0.1739	14.815
15	1158.78	0.0100	0.0100	0	0.0352	0.1983	0.1775	15.075
16	1157.7	1.0800	0	1.0800	0.0327	0.2613	0.1251	11.120
17	1157.09	0.6100	0	0.6100	0.0304	0.2862	0.1061	9.589
18	1156.88	0.2100	0	0.2100	0.0282	0.2808	0.1004	9.123
19	1156.56	0.3200	0	0.3200	0.0262	0.2836	0.0923	8.450
20	1156.57	0.0100	0.0100	0	0.0250	0.2633	0.0950	8.677
21	1156.61	0.0400	0.0400	0	0.0261	0.2445	0.1067	9.641
22	1156.75	0.1400	0.1400	0	0.0342	0.2270	0.1507	13.100
23	1156.71	0.0400	0	0.0400	0.0318	0.2137	0.1487	12.947
24	1157.06	0.3500	0.3500	0	0.0545	0.1984	0.2747	21.552

Fonte: Hayden (2004)

As médias ilustradas na Figuras 3 e 4 são calculadas pela equação:

$$RS = \frac{AU}{AD} \quad (14)$$

Em que: AU é o total de ganhos no preço durante 14 períodos

AD é o total de perdas (usando valores positivos) no preço durante a mesma quantidade de períodos.

Após o primeiro cálculo de AU e AD, é possível seguir um padrão de média móvel de ganhos e perdas a fim de facilitar a programação utilizando-se de um princípio de média móvel que permite subtrair um valor médio de AU ou AD passado e adicionar o valor do período seguinte. Expresso por Wilder (1978), tem-se as equações:

$$AU_t = \frac{(AU_{t-1} \times 13) + UP}{14}$$

$$AD_t = \frac{(AD_{t-1} \times 13) + DOWN}{14} \quad (15)$$

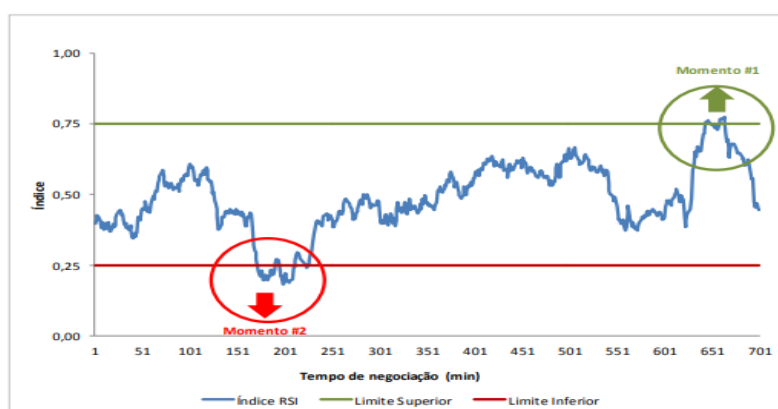
em que: UP é se o próximo valor de preço obtiver ganho.

DOWN se o próximo valor de preço obtiver perda

Foram concebidos por Wilder (1978) 14 períodos, ou seja, a metade de um mês. Considerando a variação do IFR (0-100), os parâmetros limites definidos como 30 e 70, em que valores abaixo de 30 representam sobrevenda e valores acima de 70, sobrecompra. Desta forma, se AD foi igual a 0, o valor de RSI é tido como 100, visto que há uma indefinição matemática acerca da divisão por 0 e, caso o AU seja nesse valor, também o será o RSI.

A Figura 5 exemplifica os momentos em que o Índice de Força Relativa atinge momentos de máximo e de mínimo, sendo considerados como limites os valores de 25 a 75 nos intervalos, que variam de acordo com a preferência de cada autor (SEITA, 2014).

Figura 5 - Estratégia de negociação IFR



.Fonte: Seita (2014)

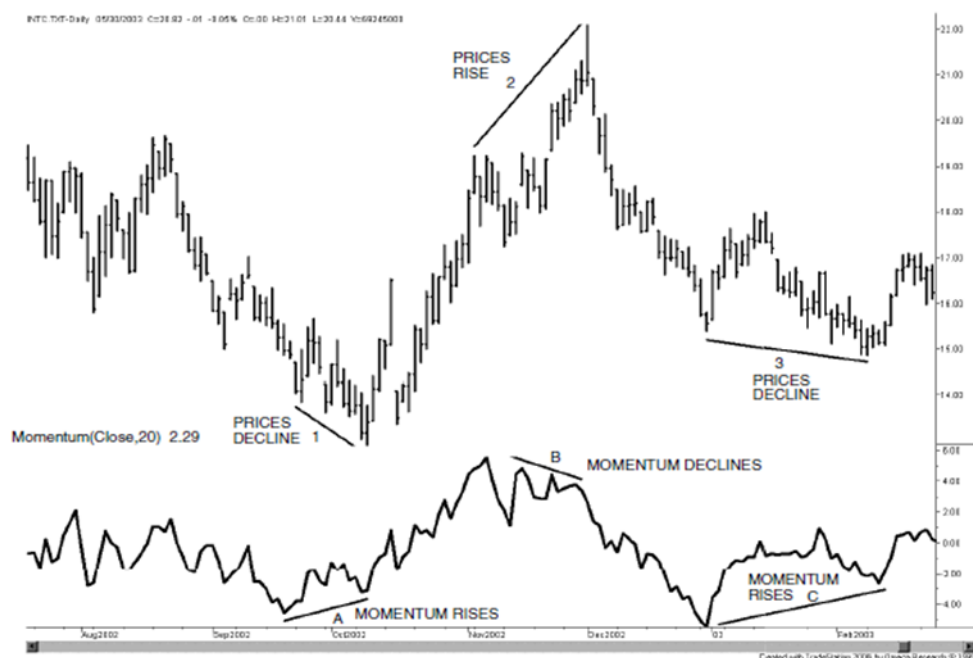
2.2.3 Combinação do Uso de Média Móvel Exponencial Elfr

Traders que agem no mercado em sentido contrário a suas tendências usualmente se baseiam em uma combinação de mecanismos como os cruzamentos de médias móveis simples exponenciais, principalmente em momentos onde o mercado demonstra saturação, ou seja, seus limites pré-estabelecidos estão a ponto de serem atingidos pelos níveis de IFR (SEITA, 2014).

De acordo com Seito (2014), a caracterização dos agentes grafistas pode ser feita através da observação de suas ações em relação às tendências de índices, ou seja, os seguidores, que vendem e compram apenas através da observação de limites superiores e inferiores, e os opositores, que utilizam o cruzamento de

indicadores para alicerçar suas ações. Na Figura 6 é possível verificar divergência de tendência e momentos.

Figura 6 - Divergência de tendência e momentos (Ação - Intel).



Fonte: Kaufman (2013)

A Figura 6 demonstra a divergência de momentos em que é possível obter resultados operando contra a tendência em certos momentos a partir da análise de mecanismos de mercado.

2.3 FATOS ESTILIZADOS DO MERCADO DE AÇÕES

O mercado de ações real, em consequência de toda a sua movimentação e especulação, gera uma quantidade enorme de dados e informações sobre os ativos e seus dividendos, trabalhando esses dados muitas vezes em séries históricas, pode-se observar vários comportamentos típicos desses dados. Alguns dos comportamentos mais observados em ativos diferentes podem possuir explicações semelhantes, e esse fenômeno é denominado um “fato estilizado” (CUTLER; POTERBA, 1989).

Portanto, um fato estilizado pode ser definido como um denominador comum entre as propriedades observadas em estudos de mercados e ativos diferentes. Desta forma, é obtido um mecanismo genérico de análise e comparação

de eventos, geralmente formulado em termos de propriedades qualitativas de retorno dos ativos e que demandam análises aprofundadas para a produção de um modelo destes (CONT, 2000).

Seguindo a linha de estudo de Cont (2000), Bertella *et. al.* (2017) e Higachi *et. al.* (2020), foram descritos onze fatos estilizados, sendo os mais importantes a distribuição com caudas pesadas, a ausência de autocorrelação linear de retornos, a aglomeração de volatilidade e o excesso de volatilidade.

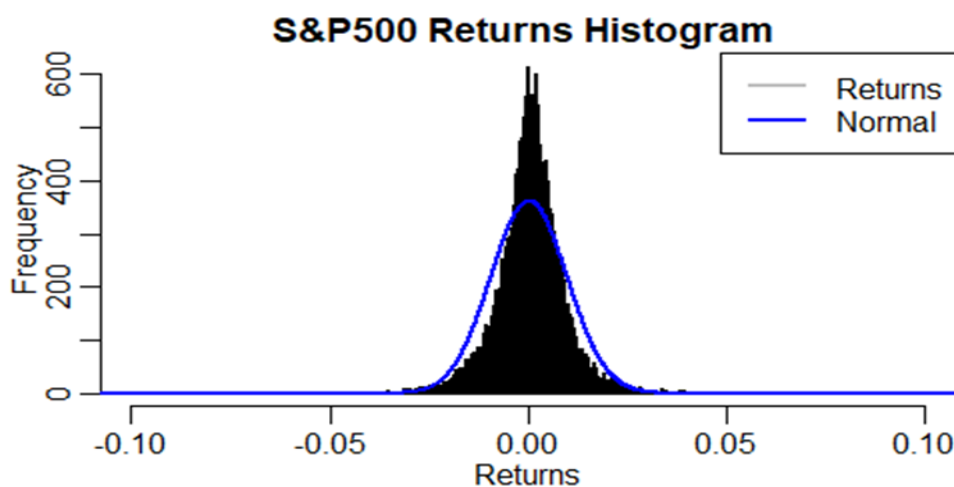
A distribuição com caudas *pesadas* é um formato que algumas distribuições de probabilidade apresentam uma curtose se comparada a uma distribuição normal, ou seja, a caudas maiores que a distribuição normal se dá o nome de cauda pesada. Para alguns tipos de eventos a chance de ocorrer essas realizações fora da normal é consideravelmente alta (CONT, 2000).

Segundo Kaufman (2013), uma distribuição com cauda pesada, é um fenômeno estatístico causado por combinações de fundamentos do mercado e sustentada pelo comportamento humano, cujo efeito técnico é a movimentação dos preços em uma direção por um período de tempo maior que do uma movimentação explicada por uma distribuição aleatória.

A Figura 7 reporta um histograma de retorno do Índice S&P500 (*Standard and Poor's 500*), o índice do mercado de ações que abrange as maiores 500 companhias domiciliadas e listadas nas maiores bolsas de valores dos Estados Unidos, a NYSE e a NASDAQ. Esse índice, considerado padrão para medir o desempenho do mercado norte-americano, tem como objetivo a representação das empresas que lideram setores ao redor do mundo. No histograma apresentado na figura, foi traçada uma curva normal na construção do gráfico para comparação das caudas pesadas e nota-se que a curtose com caudas pesadas da distribuição

A cauda pesada à direita apresenta os retornos positivos do S&P500 e, à esquerda, os retornos negativos. A lucratividade de uma estratégia de negociação, de acordo com Kaufman (2013), depende de uma distribuição de cauda pesada estendida para a direita.

Figura 7 - Histograma da distribuição de retornos em cauda pesada do índice S&P500



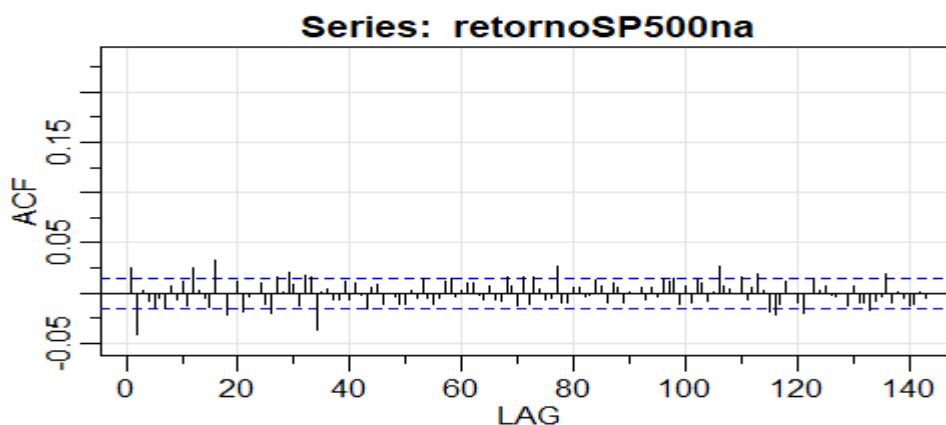
Fonte: O autor

A autocorrelação reporta o quanto o valor de um ativo é capaz de influenciar seus vizinhos, assim, um valor baixo do ativo implica em valores mais baixos de outros ativos (BOUCHAUD *et. al.*, 2001).

No mercado, a ausência das autocorrelações dos retornos dos ativos na frequência diária acontece se as mudanças de preços não apresentam correlação significativa. Caso contrário, esta correlação pode ser usada para traçar uma estratégia simples para obter ganhos, porém o tempo de correlação é apenas o tempo que o mercado leva para reagir às novas informações, ou seja, apenas alguns minutos (CONT, 2000).

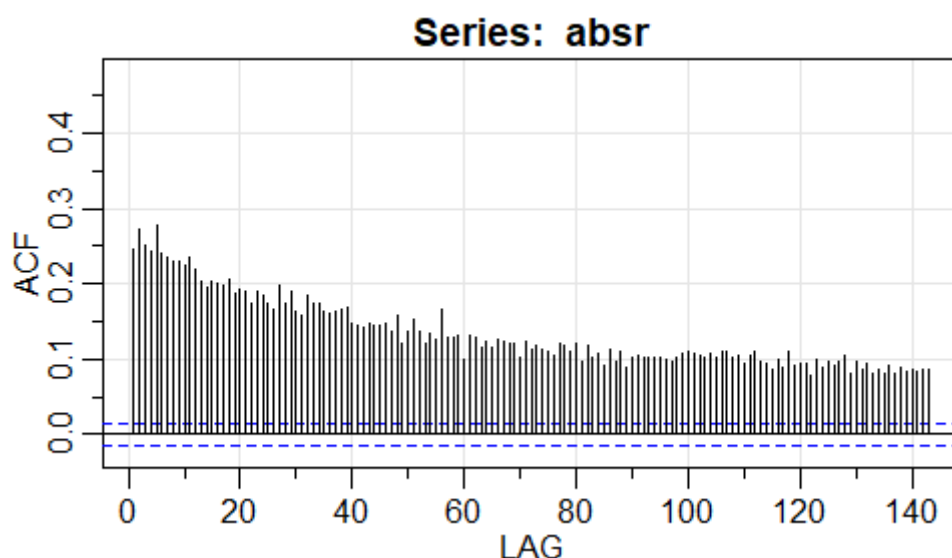
Essa ausência de autocorrelação pode ser representada pela Figura 8, que exemplifica esse conceito aplicado ao índice S&P500 de acordo com o mesmo mecanismo de produção de gráfico observado na Figura 7. A Figura 9, por sua vez, demonstra o caimento lento da autocorrelação não linear do S&P500.

Figura 8 - Autocorreção Linear de Retornos do S&P500



Fonte: O Autor

Figura 9 - Autocorrelação Não Linear de Retornos Absolutos do S&P500



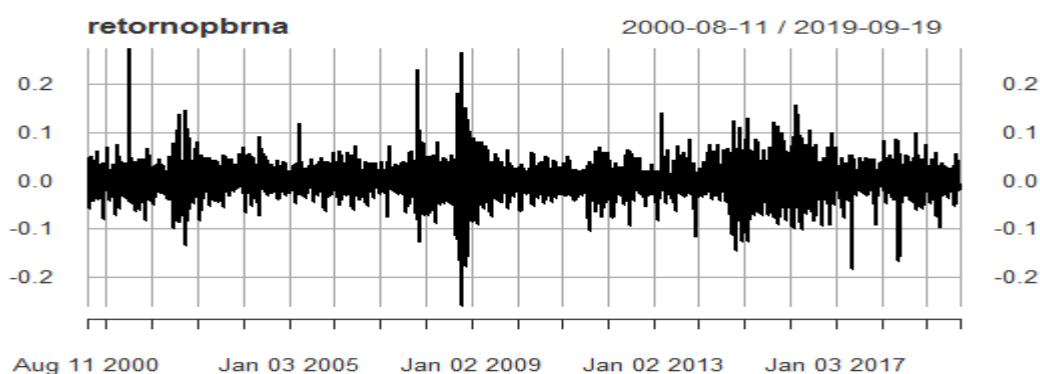
Fonte: O Autor

A *aglomeração de volatilidade* é um fenômeno que atua sobre o preço dos ativos, em períodos específicos, podendo ou não ser observado. Aglomeração em períodos de alta volatilidade indicam um aumento na frequência de movimentação no preço do ativo e auxiliam na mensuração de seu risco (MORGAN, 1996).

Assim pode se inferir que grandes variações de preço ocorridas durante uma sequência de volatilidade têm mais probabilidade de ocorrer após grandes variações de preço, gerando as cadeias de aglomerações (CONT, 2000). Essas cadeias de aglomerações podem ser mais baixas e mais altas, de acordo com o contexto do mercado no momento (BOUCHAUD *et. al.*, 2001).

Podem ser observados na Figura 10 os índices de volatilidade das ações na Petrobrás, notando-se pontos altos de aglomeração seguidos por pontos altos e pontos baixos seguidos por pontos baixos, bem como a existência de aglomerações somente após tendências de excesso.

Figura 10 - Volatilidades nas ações da Petrobrás no período dos anos 2000 a 2019.



Fonte: O Autor

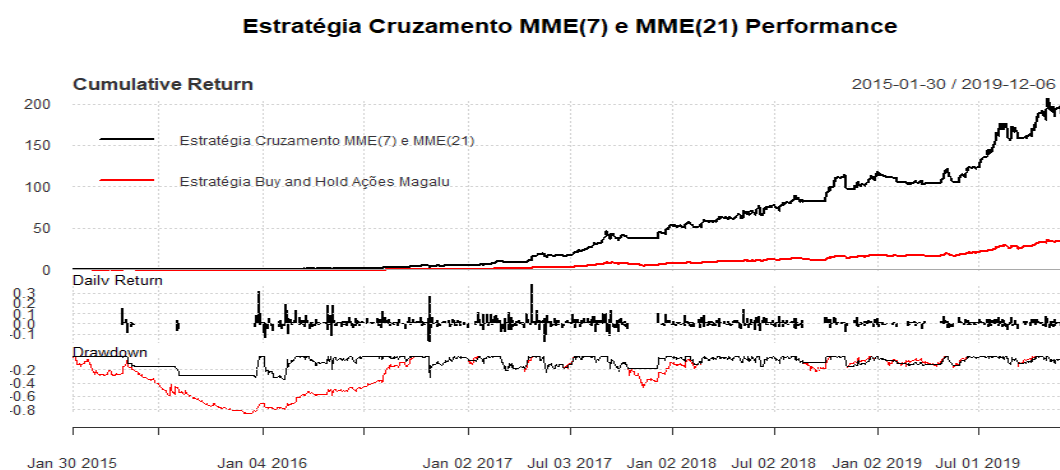
Assim, fatos estilizados podem denotar uma validação do modelo artificial baseado em agentes, de acordo com a realidade observada no mercado. As causas para a sua ocorrência são diversas, entre elas a similaridade de técnicas, conduções de negociação, heurísticas na formação de caudas pesadas (LEBARON, 2006), e a heterogeneidade e o sentimento dos agentes (ALFI *et. al.*, 2009; ARTHUR, 1995).

2.4 BACKTEST DA ESTRATÉGIA DA ANÁLISE TÉCNICA E *BUY AND HOLD*

A possibilidade de desenvolver estratégias para obter retornos acima do mercado depende inteiramente das ponderações a serem realizadas antes da análise técnica dos padrões gráficos. Com as técnicas disponíveis atualmente, é possível realizar o mapeamento de padrões no histórico de preços dos ativos que prevejam o seu comportamento no futuro, assim como a aplicação de estratégias lucrativas de investimento. Também é necessária a realização de uma análise sobre a combinação de condutas mais apropriadas para cada situação (BOAINAIM; PEREIRA, 2009).

A Figura 11 apresenta um comparativo entre duas estratégias de operações no mercado, a *buy and hold* (que consiste na compra e retenção do ativo por um longo período sem negociá-lo por este tempo) e o cruzamento de médias móveis exponenciais em comprimentos de memória de 7 e 21 períodos. Pode-se notar retorno acumulado superior da estratégia de cruzamento de médias em relação a estratégia *buy and hold*. No *backtest*, não foram considerados os custos de transação e uma posição vendida. Magazine Luiza

Figura 11 - Retorno cumulativo aplicado a duas estratégias de negociação com ações da empresa Magazine Luiza (MGLU3)

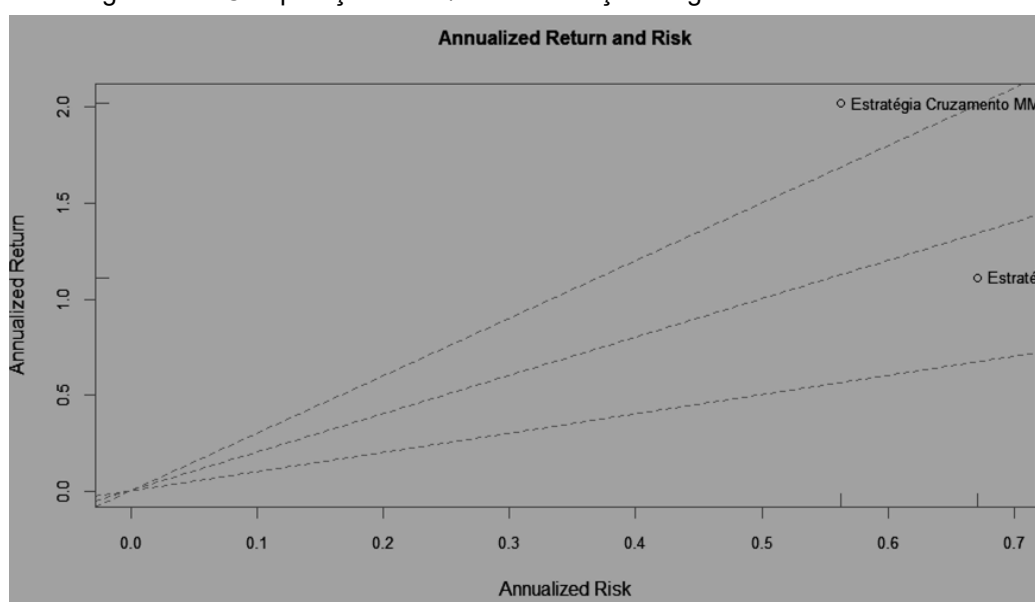


Fonte: O Autor

Sobre a ponderação do risco tomado em uma operação financeira, Kaufman (2013) considera que depois do fator do preço do ativo, a sua volatilidade é o fator que em uma negociação apresentará maior impacto, sendo a volatilidade de um ativo ligada a seu risco da mesma forma como a relação entre estratégias de negociação e a volatilidade que apresentam resultados com uma lucratividade considerável superior ao *benchmark*. A volatilidade é utilizada como um filtro da negociação do ativo, evitando um alto risco quando ela é alta e ficando de fora da negociação quando ela for muito baixa.

A Figura 12 reporta a comparação entre risco e retorno das duas estratégias utilizadas dentro das ações do Magazine Luiza (MGLU3). Verifica-se a maior rentabilidade da estratégia de cruzamento de médias móveis exponenciais e menor nível de risco em comparação com a estratégia *buy and hold*.

Figura 12 - Comparação Risco/Retorno – Ação Magazine Luiza



Fonte: O Autor

2.5 MODELOS BASEADOS EM AGENTE DO MERCADO DE AÇÕES

A Modelagem Baseada em Agentes (ABM) é uma abordagem recente na análise aplicada ao mercado financeiro, representado assim um avanço na teorização dos fatos estilizados considerados anomalias pela HME (Bertella *et. al.*, 2017; Higachi *et. al.*, 2020).

Bertella *et. al.* (2017) propõem explicar alguns fatos estilizados considerados anomalias pela HME como o excesso de volatilidade do retorno e do preço da ação

em relação ao comportamento do dividendo, e as relações de causalidade entre o grau de confiança ou sentimento do *trader* grafista e o preço da ação, por meio da modelagem de *traders* grafistas com racionalidade limitada que formulam suas expectativas de preço calcado em três tamanhos de memórias e que sofrem do viés de atribuição.

A estrutura de seu modelo é constituída de N agentes que tomam a decisão entre dois tipos de aplicação de sua riqueza: 1) a aquisição de um ativo com risco, sendo uma ação dividida em n unidades para pagamento de um dividendo estocástico d_t e 2) um ativo livre de risco, pagando uma taxa constante de juros r possuindo oferta infinitamente elástica, com tempo discreto t .

Foram utilizados para tanto 100 agentes em um ambiente artificial simulando o mercado financeiro, variando entre agentes fundamentalistas e os grafistas seguidores de tendência, sendo a quantidade de ações passível de fracionamento pelos agentes. As simulações computacionais usaram 5000 períodos de tempo, com valores iniciais baseados nos experimentos.

Assim, quatro cenários de simulação foram formulados e apresentados. No cenário 1, os agentes eram todos fundamentalistas, no cenário 2, constaram 75 fundamentalistas e 25 grafistas. O terceiro experimento usou 25 agentes fundamentalistas, 25 grafistas com memória igual a $m = 1$, 25 grafistas com $m = 5$ e 25 grafistas com $m = 10$ e, por fim, o último experimento foi uma repetição do terceiro com a inclusão do viés de atribuição e o excesso de pessimismo nos agentes.

Os resultados de simulação do cenário 1 serviu como referência para os demais cenários, desde que todos os agentes são fundamentalistas, e, portanto, consistente com Hipótese dos Mercados Eficientes, em que os preços dos ativos refletem plenamente toda a informação do mercado acerca do valor fundamental.

Esse trabalho concluiu que a adição da heterogeneidade comportamental dos agentes em um modelo ABM faz com que os preços dos ativos sejam mais voláteis do que os valores fundamentais da ação, e que a confiança em excesso ou falta dela afeta a decisão do agente e contribui para as formações de bolhas, ou seja, desvios entre o valor de um ativo e seu valor intrínseco. Outra propriedade emergente interessante que reproduz uma relação empírica entre o índice S&P500 e o grau de confiança no mercado de ações dos EUA, foi mostrar que há uma relação de longo prazo entre o grau de confiança ou sentimento do agente grafista

e o preço da ação, e a relação de causalidade no sentido de Granger é do preço da ação para o grau de confiança.

Por sua vez, Higachi *et. al.* (2020) formulam um modelo baseado em agente de mercado de ações artificial, aumentando a diversidade e o realismo de *traders* grafistas seguidores de tendência em relação ao ABM de Bertella *et. al.* (2017), no sentido de gerar e explicar quatro fatos estilizados no mercado de ações: ausência de autocorrelação serial nos retornos, o excesso de volatilidade do preço e dos retornos em relação aos dividendos, distribuições de retornos com causas pesadas e aglomeração de volatilidade. A estrutura do modelo segue as considerações:

- 1) O mercado de ações artificial é composto por agentes fundamentalistas e grafistas.
- 2) Os agentes não podem mudar suas estratégias, e não havendo modificação nos números de agentes durante as simulações seguindo Bertella *et. al.* (2014 e 2017).
- 3) Os grafistas aplicando a heurística da representatividade e ancoragem utilizam distintos indicadores para formular sua expectativa de preço da ação: valores máximo e mínimo do preço, médias móveis simples e exponencial. Estes se diferem também pelo comprimento de suas memórias.
- 4) Três cenários de organização:
 - I) Cenário 1: todos os agentes são fundamentalistas
 - II) Cenário 2: presença e interação entre agentes fundamentalistas e agentes grafistas seguidores de tendência. Havendo 8 tipos de agentes grafistas, de diferentes indicadores e diferentes memórias:
 - Preço máximo dos últimos 30 períodos.
 - ✓ Preço mínimo dos últimos 30 períodos.
 - ✓ Média móvel simples 10 períodos.
 - ✓ Média móvel simples 20 períodos.
 - ✓ Média móvel simples 30 períodos.
 - ✓ Média móvel exponencial 10 períodos.
 - ✓ Média móvel exponencial 20 períodos.
 - ✓ Média móvel exponencial 30 períodos.
 - III) Cenário 3: Repete o cenário 2, porém adiciona o viés de atribuição ou excesso de autoconfiança.

- 5) Existe 2 ativos para os quais os agentes devem escolher nos quais deverão alocar sua riqueza, um ativo livre de risco que tenha taxa de juros constante r com uma oferta elástica infinita e um ativo que possui risco com pagamento de dividendo seguindo um processo auto regressivo.
- 6) O tempo é discreto e indexado por t com um total de 5000 períodos.
- 7) A fixação do preço no mercado é considerando o excesso de oferta ou demanda.
- 8) Após a definição do preço do mercado no tempo t , o portfólio de todos os agentes é atualizado, assim como seu nível de riqueza.
- 9) Existe uma restrição na quantidade de ações adquiridas pelos agentes, sendo que cada agente não pode possuir mais do que 5 ações por período e são permitidos no máximo 5 ações para serem vendidas a descoberto.

A seguir a descrição das equações do modelo:

$$d_t = \underline{d} + \rho(d_{t-1} - \underline{d}) + \varepsilon_t \quad (16)$$

Em que: $\underline{d}$, o dividendo base;

d_t , dividendo corrente;

d_{t-1} , dividendo passado;

ε_t , possui distribuição normal com média 0 e variância finita σ^2 ;

$0 < \rho < 1$.

Por sua vez, todos os agentes possuem a mesma função utilidade caracterizada pela aversão ao risco absoluta e constante (CARA):

$$U(W_{i,t}) = -e^{(-\lambda w_{i,t})} \quad (17)$$

$W_{i,t}$, é a riqueza do agente i no período t ;

λ , nível de aversão ao risco.

Cada agente i tem o mesmo valor inicial de riqueza W_0 e pode acumular riqueza através de investimentos, assim sendo, no tempo t , cada agente tem duas maneiras de manter a riqueza, veja-se pela equação:

$$W_{i,t} = h_{i,t}(p_t + d_t) + (1 + r)(W_{i,t-1} - p_t h_{i,t}) \quad (18)$$

Em que:

$W_{i,t}$, é a riqueza do agente i no período t ;

$h_{i,t}$, quantidade de ações demandada pelo agente i no período t ;

p_t , preço da ação no período t ;

d_t , dividendo da ação no período t ;

r , taxa de juros livre de risco, considerada constante.

A maximização da utilidade esperada do agente i é:

$$\text{Max } [U(W_{i,t+1})]$$

s.a

$$W_{i,t} = h_{i,t}(p_t + d_t) + (1 + r)(W_{i,t-1} - p_t h_{i,t}) \quad (19)$$

A quantidade ótima de ações demandada pelo agente fundamentalista é proporcional à diferença entre a expectativa de preço e dividendo dos agentes no período seguinte menos o preço atual ajustado pela taxa de juros r e inversamente proporcional à aversão ao risco λ e a variância do retorno $\sigma_{i,t,p+d}^2$.

$$h_{i,t}^* = \frac{E_{i,t}(p_{t+1} + d_{t+1}) - p_t(1 + r)}{\lambda \sigma_{i,t,p+d}^2} \quad (20)$$

Em que:

$\sigma_{i,t,p+d}^2$, é a variação percebida dos retornos, considerando a volatilidade do preço e dos dividendos. $\sigma_{i,t,p+d}^2$ é calculada como em Bertella *et. al.* (2017), pela equação:

$$\sigma_{i,t,p+d}^2 = (1 - \theta)\sigma_{i,t-1,p+d}^2 + \theta[p_t + d_t - E_{i,t-1}(p_t + d_t)]^2 \quad (21)$$

Sendo que o parâmetro θ é o peso atribuído aos erros ao quadrado mais recentes, em oposição ao peso nos erros ao quadrado anteriores. Esse parâmetro é importante porque, quanto mais peso os agentes atribuem a desvios recentes, mais voláteis e suscetíveis ao ruído serão os negócios.

Por sua vez, para o agente grafista, a quantidade ideal de ações demandadas no tempo t é proporcional a diferença entre a expectativa do preço do agente no período seguinte e o preço atual acumulado pela taxa de juros r , e inversamente a aversão ao risco absoluta λ e a variação percebida dos retornos $\sigma_{i,t,p}^2$.

$$h_{i,t}^* = \frac{E_{i,t}(p_{t+1}) - p_t(1+r)}{\lambda Per \sigma_{i,t,p+d}^2} \quad (22)$$

Em que:

$Per \sigma_{i,t,p+d}^2$ é a variação percebida dos retornos considerando apenas a volatilidade do preço das ações que é determinada pelo nível de autoconfiança $C_{i,t}$ (equação abaixo) e sua variação real é:

$$\sigma_{i,t,p}^2 = (1-\theta)\sigma_{i,t-1,p}^2 + \theta [p_t - E_{i,t-1}(p_t)]^2 \quad (23)$$

O agente fundamentalista ou grafista deverá comprar novas ações comparando a quantidade ideal de ações $h_{i,t}^*$ com o estoque de ações que já possui:

$$b_{i,t} = \{h_{i,t}^* - h_{i,t-1}, h_{i,t}^* \geq h_{i,t-1}, 0, \quad \text{caso contrário} \} \quad (24)$$

E, se a quantidade ideal demandada pelo agente i for menor que a do período anterior, ela venderá a diferença:

$$o_{i,t} = \{h_{i,t-1} - h_{i,t}^*, h_{i,t}^* < h_{i,t-1}, 0, \quad \text{caso contrário} \} \quad (25)$$

Dessa forma, o total de compras e vendas do mercado será dado por:

$$B_t = \sum_{i=1}^N b_{i,t}$$

$$O_t = \sum_{i=1}^N o_{i,t} \quad (26)$$

Em que:

B_t : é o total de ordem de compras

O_t : é o total de ordem de vendas

N : é o número de agentes

Assim, o preço de mercado de ativos arriscados se ajustará em termos de oferta e demanda:

$$p_t = p_{t-1} e^{(B_t - O_t)/\beta} \quad (27)$$

Sendo β , a velocidade do reajuste dos preços, representando um fator de escala que normaliza o excesso de demanda no mercado de ações e é considerado um fator facilitador das flutuações do mercado.

A formação de expectativa de preço da ação dos agentes fundamentalista com expectativas racionais foi baseada em Lovric (2011) e Bertella *et. al.* (2014 e 2017), e é calcada no fluxo futuro de dividendos ou no modelo de Gordon (1956), supondo uma distribuição de probabilidade de dividendos e uma taxa g de aumento constante:

(i) Expectativa de dividendos futuros:

$$E(d_{t+1}) = d_t (1 + g) \quad (28)$$

Em que:

dt : é o dividendo pago por uma ação no período corrente.

g : é a taxa de crescimento constante esperada do dividendo.

(ii) Preço futuro da ação

$$E(p_{t+1}) = \frac{d_t(1+g)}{k-g} \quad (29)$$

Em que:

k é o fator de desconto que o mercado exige para as ações.

Com a união das duas expectativas o agente fundamentalista forma a sua expectativa dos preços das ações $E_{i,t} = (p_{t+1} + d_{t+1})$, comparando esse valor com o do mercado no tempo t e fazendo assim suas decisões de compra e venda.

Por outro lado, a formação da expectativa dos agentes grafistas, é ancorada apenas nível do preço da ação, não se levando em conta os seus dividendos, e usando os indicadores da análise técnica; máximos e mínimos de preços, média móvel simples, média móvel exponencial:

Expectativa em relação ao preço máximo:

$$E_{(p_{t+1})} = \text{Max}(P_t + P_{t-1} + \dots + P_{t-n}) \quad (30)$$

Em que:

n , é o número de períodos considerados no cálculo do preço máximo, sendo $n = 30$ nas simulações.

A expectativa usando o preço mínimo é representada pela equação:

$$E_{(p_{t+1})} = \text{Min}(P_t + P_{t-1} + \dots + P_{t-n}) \quad (31)$$

Em que:

n , é o número de períodos considerados no cálculo do preço mínimo, sendo $n = 30$.

Além disso, a expectativa sobre o preço futuro quando um agente grafista usa a regra da média móvel simples pela equação:

$$E_{(p_{t+1})} = \frac{(P_t + P_{t-1} + \dots + P_{t-n})}{n} \quad (32)$$

Em que:

n é o número de preços passados considerado no cálculo do preço médio, sendo que existem três tipos de agentes grafistas que usam

Essa regra de cálculo: $n = 10$ (curto prazo), $n = 20$ (médio prazo) e $n = 30$ (longo prazo).

Finalmente, a expectativa sobre o preço futuro formulado por um agente grafista que adota a regra da média móvel exponencial é:

$$E_{(p_{t+1})} = SPema_{t-1} + \frac{2}{(n+1)}(P_t - SPema_{t-1}) \quad (33)$$

Em que:

$SPema$ é a media móvel exponencial dos preços. Existem três tipos de agentes grafistas que usam essa regra de cálculo: $n = 10$ (curto prazo), $n = 20$ (médio prazo) e $n = 30$ (longo prazo).

Baseado em Lovric (2011), para modelar a dinâmica do risco percebido é considerado a evolução do grau de confiança ou sentimento dos agentes grafistas no cenário 3, $C_{i,t}$, a qual depende se suas expectativas de preço estão dentro ou fora de um intervalo de confiança.

$$Perc \sigma_{i,t,p}^2 = (C_{i,t})\sigma_{i,t,p}^2 \quad (34)$$

Assim, $C_{i,t}$, significa o nível de confiança do agente grafista sobre sua expectativa. Se igual a 1 o agente é neutro, não subestimando ou superestimando o nível de risco, se menor do que 1, o agente grafista subestima o nível de risco sofrendo do viés de atribuição ou excesso de confiança, e se maior do que 1, o agente grafista sofre do excesso de pessimismo ou falta de confiança.

Por sua vez, a evolução dos níveis de confiança de agentes grafistas é dada pela equação:

$$\begin{aligned} & Se \quad |E_{i,t-1}(P_{i,t}) - P_t| < 2 \cdot C_{i,t} \cdot \sigma_{i,t,p} \\ & \text{então } C_{i,t+1} = a \cdot C_{i,t} \\ & \text{caso contrário } C_{i,t+1} = b \cdot C_{i,t} \end{aligned} \quad (35)$$

Em que, $C_{i,t} \cdot \sigma_{i,t,p}$ corresponde ao desvio padrão percebido do retorno das ações. Assim, se a diferença entre a expectativa de preço da ação e o preço real estiver dentro do intervalo de confiança, o grau de confiança $C_{i,t}$ é majorado por $0 < a < 1$, ao contrário ele é reduzido por $b > 1$.

Em suma, verifica-se que apesar dos avanços teóricos de Higachi *et. al.* (2020) na explicação dos principais fatos estilizados do mercado de ações em

relação a Bertella *et. al.* (2017), umas das suas limitações é a completa ausência de agentes grafistas que operam comprando e vendendo ações buscando antecipar a reversão das tendências do mercado.

3 METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos deste trabalho, foi realizada breve revisão de literatura sobre conceitos de finanças comportamentais, de indicadores da análise técnica e de modelos baseados em agente de Bertella *et. al.* (2017) e de Higachi *et. al.* (2020).

Por sua vez, a adição de agentes grafistas que buscam antecipar a reversão da tendência no ABM de Higachi *et. al.* (2020) foi realizado supondo que parcela de agentes grafistas seguidores de tendência podem tornar-se agentes que operam contra a tendência do preço da ação, desde que formulam suas previsões de preço da ação por meio de dois indicadores da análise técnica: a média móvel exponencial e o Índice de Força Relativa ou IFR.

Para a comparação e interpretação dos resultados, foram criados três cenários de simulação:

- No primeiro, o cenário de controle da HME, todos os agentes empregados serão fundamentalistas;
- No segundo, a composição da população de agentes se deu através de agentes fundamentalistas e agentes grafistas seguidores de tendências que sofrem do viés de atribuição ou da falta de confiança;
- No terceiro e último, a população de agentes de mercado foi estabelecida com agentes fundamentalistas, agentes grafistas seguidores de tendência e agentes grafistas que buscam antecipar a reversão da tendência, por meio do IFR.

Em suma, no cenário 1, 100% ou 245 agentes no mercado de ações são fundamentalistas com expectativas racionais; no cenário 2, 168 agentes são agentes fundamentalistas e 77 são agentes grafistas seguidores de tendência; e no cenário 3, 168 são agentes fundamentalistas, 56 são agentes grafistas seguidores de tendência e 21 são agentes grafistas que realizam operações de compra e venda de ações contra a tendência.

Para a comparação destes três cenários, foi empregado o Índice de Sharpe (IS). Esse índice pondera a quantia de retorno excedente ao ativo livre de risco que seja compensatória em vista do risco adotado na estratégia. Esse índice pode servir como base também para a comparação de diferentes modelos com diferentes

características, facilitando assim a avaliação e o processo de escolha da configuração que apresente os maiores retornos e os menores riscos. Desta maneira, o Índice de Sharpe foi utilizado na comparação para descobrir o melhor cenário e estratégia.

O Índice de Sharpe pode ser expresso pela equação:

$$IS = \frac{(R_i - R_f)}{\sigma_i} \quad (36)$$

Em que:

IS = Índice de Sharpe

R_i = Retorno do Ativo

R_f = Retorno do Ativo livre de risco

σ_i = Risco do Ativo (a sua volatilidade)

No ABM do mercado de ações artificial a ser estudado, o retorno do ativo livre de risco é constante e igual nos três cenários estabelecidos, portanto será desconsiderado em detrimento da ponderação do retorno do ativo reduzido a sua volatilidade, ou seja, a seu risco. Assim, o IS nestes cenários servirá para demonstrar o risco do ativo, equivalendo-se a ele.

A maneira escolhida para o cálculo e mapeamento dessa volatilidade usada no estudo foi uma das cinco formas estudadas por Kaufman (2013), a volatilidade anualizada para dados baseados em dias, que é a mais bem aceita por analistas financeiros. Ela consiste no desvio padrão entre os retornos dos últimos n períodos, multiplicando-se a raiz quadrada do número de períodos em um ano.

O software utilizado para a formulação do ABM do mercado de ações e as simulações dos cenários foi o *LSD (Laboratory for Simulation Development)*, enquanto que a análise dos resultados de simulação foi realizada através do software R.

Foram escolhidos para análise quatro dos onze fatos estilizados descritos por Cont (2000) de acordo com a linha de estudo de Bertella *et. al.* (2017) e Higachi *et. al.* (2020):

- Distribuição de retornos com caudas pesadas;
- Ausência de autocorrelação linear nos retornos;
- Aglomeração de volatilidade;

- Excesso de volatilidade.

Estes fatos estilizados, caracterizados na **seção 2.3.**, são propriedades qualitativas que qualquer teoria ou modelo de mercado de ações deve explicar, desde que são regularidades empíricas relativamente robustas observadas na maioria das ações e de distintos mercados de ações. Ressalta que a HME proporciona uma explicação apenas da ausência da autocorrelação linear nos retornos, considerando os demais fatos estilizados como anomalias do mercado de ações.

Os critérios utilizados pelos agentes grafistas contrários à tendência seguem algumas regras, expostas a seguir:

- A média móvel exponencial foi composta de 30 períodos;
- O Índice de Força Relativa (IFR) foi composto de 14 períodos;
- A compra da ação será realizada se a MME (30) demonstre tendência para baixa e o IFR estiver menor que 30 ($IFR < 30$), ou seja, sobrevenda.
- A venda da ação será efetuada se a MME (30) demonstre tendência para alta e o IFR estiver maior que 70 ($IFR > 70$), ou seja, sobrecompra.

A validação do modelo ABM é realizada comparando os resultados das simulações dos três cenários com os fatos estilizados do mercado real de ações, seguindo a abordagem de calibração indireta dos parâmetros (Fagiolo *et al.*, 2017). Baseado em Dosi *et al.* (2019), pode-se propor que a abordagem da calibração indireta é uma abordagem robusta, desde que o ABM do mercado de ações artificial seja capaz de gerar e explicar fatos estilizados considerados como anomalias pela HME. A calibração dos parâmetros se deu pela comparação dos resultados das simulações dos três cenários com os quatro fatos estilizados já reportados e com os resultados de Bertella *et al.* (2017) e Higachi *et al.* (2020), conforme visualiza-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores e parâmetros utilizados nos três cenários estabelecidos para análise.

VARIABLES AND PARAMETERS	VALUES SCEN 1, 2,3
Proportion of Chartist Agents	100%G, 31,43%G, 31,43%G
d	4
d_{t-1}	4
ρ	0.99
média ε_t	0
var ε_t	0.01
p_{t-1}	20
r	0.08
β	5000
λ	0.75
$W_{t-1,i}$	100
$E_{i,t}(p_{t+1} + d_{t+1}) = E_{i,t}(p_{t+1})$	22
$\sigma_{t,p+d}^2 = \sigma_{t,p}^2$	4
$x_{i,t-1}$	1
g	0.015
k	0.25
Θ	0.015
$c_{i,t-1}$	1
$\underline{a}$	1, 0.93, 0.93
$\underline{b}$	1, 1.07, 1.07

Fonte: O Autor

Outra forma de realizar a validação do ABM do mercado de ações artificial foi a aplicação da metodologia de *backtest*, realizado por meio do software R, nos resultados dos três cenários de simulação para verificar se a estratégia da análise técnica conhecida como cruzamento da média exponencial de 7 e 21 períodos é capaz de gerar retornos ajustados pelo risco maior do que a estratégia *buy and hold* (conforme subseção 2.4).

Desta maneira se formaria uma curva de capital ao longo dos três cenários de simulação, cuja evolução mostraria se o teste da estratégia selecionada acabaria por produzir lucros anormais ajustados pelo risco. A relação entre risco e retorno deve mostrar se a adição de decisões e interações de agentes grafistas que operam contra a tendência, no cenário 3, aumentam o retorno e reduzem o risco da operação de compra e venda. O Índice de Sharpe foi utilizado para a comparação para descobrir o melhor cenário e a estratégia.

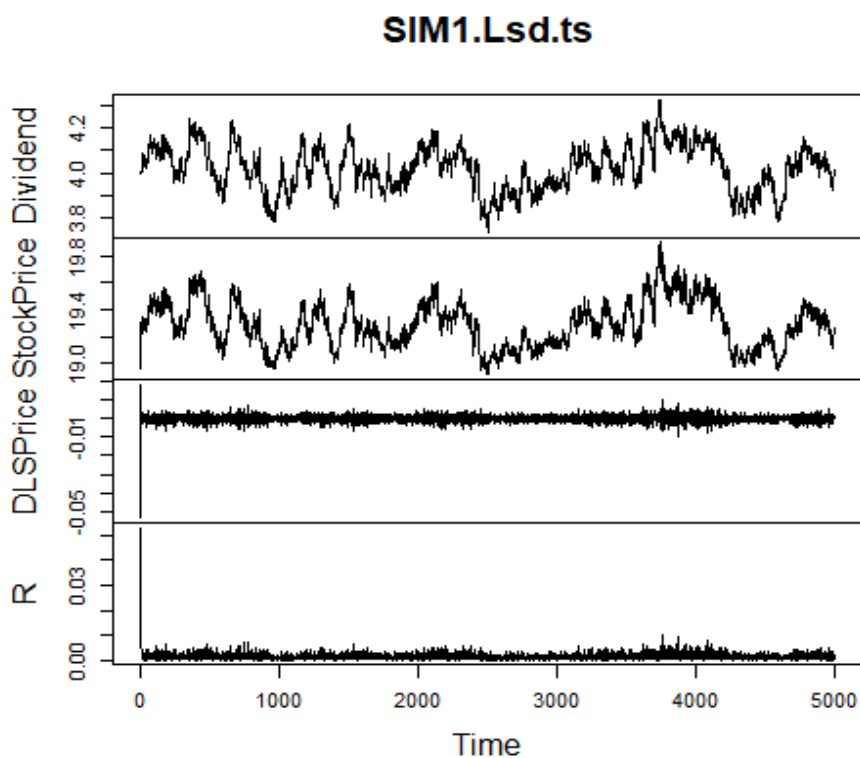
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro cenário deste estudo, denominado cenário de controle, fez uso de uma totalidade de agentes fundamentalistas. Reportando a ausência de excesso de volatilidade do preço do ativo em relação ao comportamento do dividendo, nota-se também a queda na autocorrelação serial de retornos absolutos e em *log* para zero, além da ausência de caudas pesadas na distribuição dos retornos e de aglomerações de volatilidade.

Portanto, este cenário é o que mais se aproximou da Hipótese dos Mercados Eficientes descrita por Fama (1970). Na Figura 13 pode ser observada a volatilidade dos preços e dos retornos da ação no cenário.

A Figura 13 mostra que a ocorrência de agentes apenas do tipo fundamentalista com racionalidade ilimitada, os preços dos ativos seguem um padrão de comportamento semelhante ao seu dividendo, sendo esse a base da estratégia do agente.

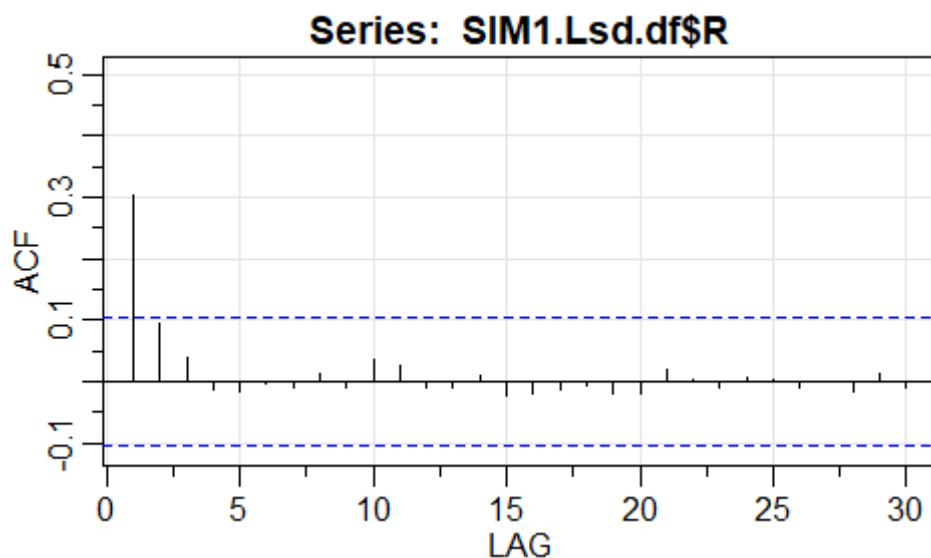
Figura 13 - Volatilidade de preços e dos retornos no cenário 1



Fonte: O Autor

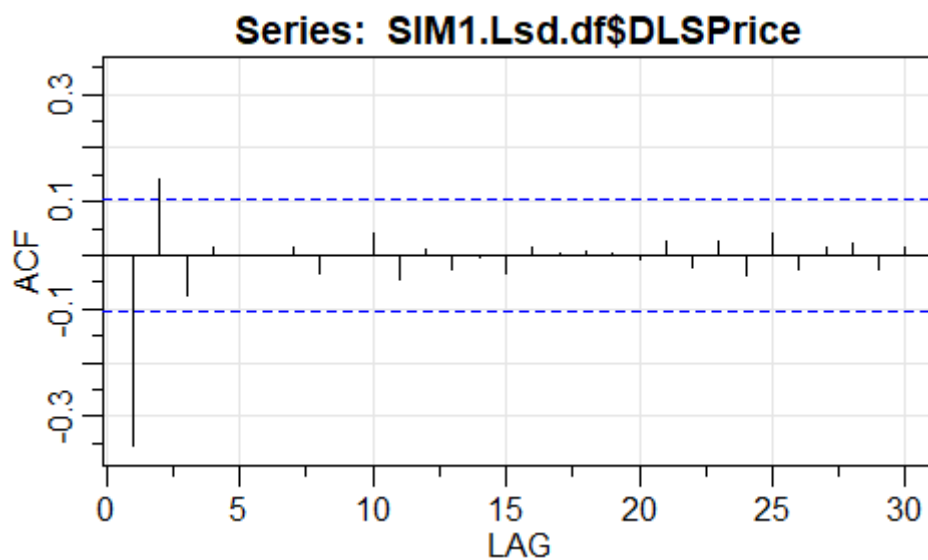
Nas Figuras 14 e 15 não é possível a observação da autocorrelação tanto em retornos em *log* quanto dos absolutos, nestes últimos caindo muito rapidamente e possuindo a não significância a 10% antes do quinto período.

Figura 14 - Autocorrelação dos retornos em log no cenário 1



Fonte: O Autor

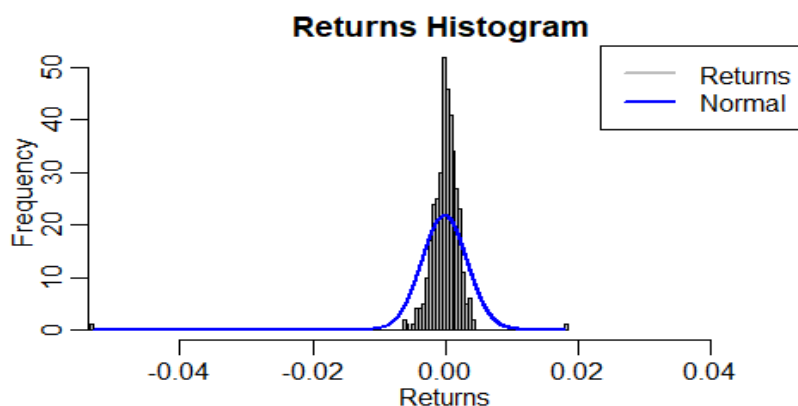
Figura 15 - Autocorreção linear dos retornos absolutos no cenário 1



Fonte: O Autor

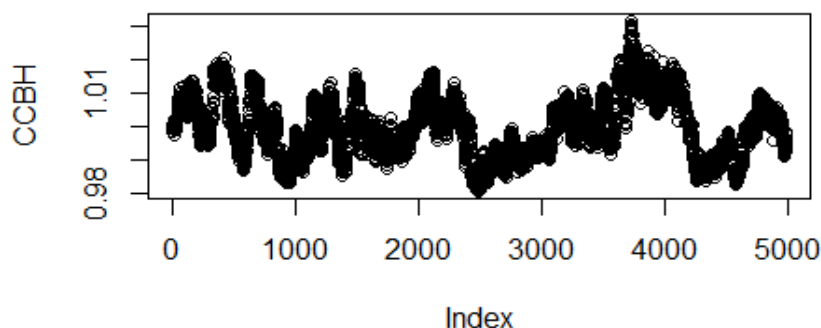
Na Figura 16, nota-se que como o cenário possui todos os agentes fundamentalistas, a distribuição dos retornos, não desenhou uma distribuição normal.

Figura 16 -. Distribuição dos Retornos no cenário 1



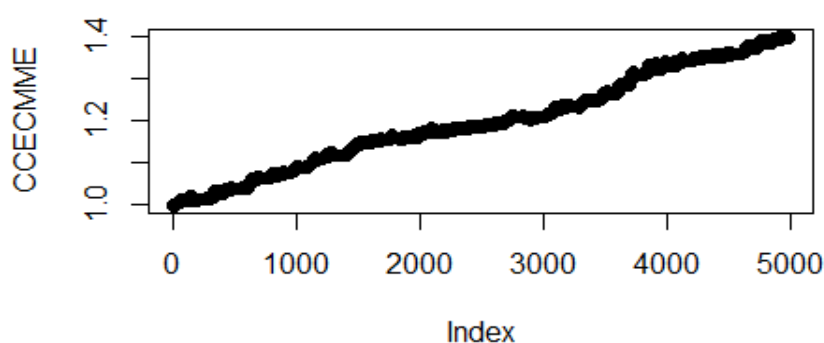
Fonte: O Autor

Observando as Figuras 17 e 18, que mostram os ganhos das duas estratégias selecionadas para analisar o ganho do agente sobre o mercado, fica claro que o ganho total utilizando a estratégia de cruzamento de médias não é significativamente superior ao da estratégia de *buy and hold*. Porém, é importante lembrar que não foram considerados os custos de transação, assim torna-se inviável a opção da estratégia de cruzamento de médias.

Figura 17 - Setup da estratégia *buy and hold* no cenário 1

Fonte: O Autor

Figura18 - Setup da análise técnica cruzamento de médias no cenário 1



Fonte: O Autor

A explicação para os resultados desse cenário pelas finanças comportamentais é que as interações e preferências de agentes fundamentalistas homogêneos com racionalidade ilimitada tendem para preços de ativos que seguem o padrão de comportamento do dividendo, não criando assim oportunidades de lucros anormais para o setup grafista de cruzamento das médias exponenciais de 7 e 21 períodos de comprimento.

A estratégia *buy and hold* por sua vez se manteve próxima do valor inicial, e a de cruzamento de médias exponenciais obteve um ganho de 40% a mais do valor inicial, pouco considerando uma simulação de 5000 períodos. No Quadro 1' podem ser observados esses valores pelo cálculo do Índice de Sharpe:

Quadro 1. Valores das duas estratégias a partir do cálculo do Índice de Sharpe no cenário 1

Cenário 1	<i>Buy and hold</i>	Cruzamento das MME 7 e 21
Retorno Médio	-0.000000364	0.00006716
Volatilidade	0.001753697	0.001182688
Índice de Sharpe	-0.000207562	0.056785898

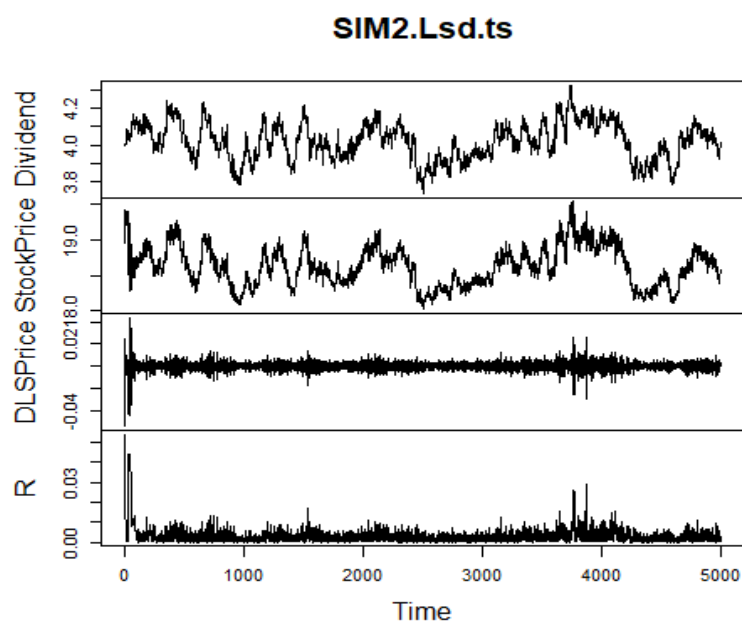
Fonte: O Autor

Através do Índice de Sharpe, foi possível a observação de que o retorno médio ajustado ao risco da estratégia de cruzamento de médias foi superior ao observado na técnica de *buy and hold*.

No cenário 2, em que há uma heterogeneidade foi adicionada ao comportamento dos agentes pela incorporação de agentes grafistas seguidores de tendências, pôde-se verificar uma volatilidade maior no preço da ação em relação ao comportamento do dividendo em relação aos do cenário 1.

A autocorrelação dos retornos em *log* decai rapidamente a zero e a autocorrelação dos retornos absolutos decai lentamente a zero. A distribuição dos retornos não demonstrou caudas pesadas. A Figura 19 reporta um ligeiro aumento nos índices de volatilidade no cenário 2,

Figura 19 - Volatilidade dos preços e retornos no cenário 2

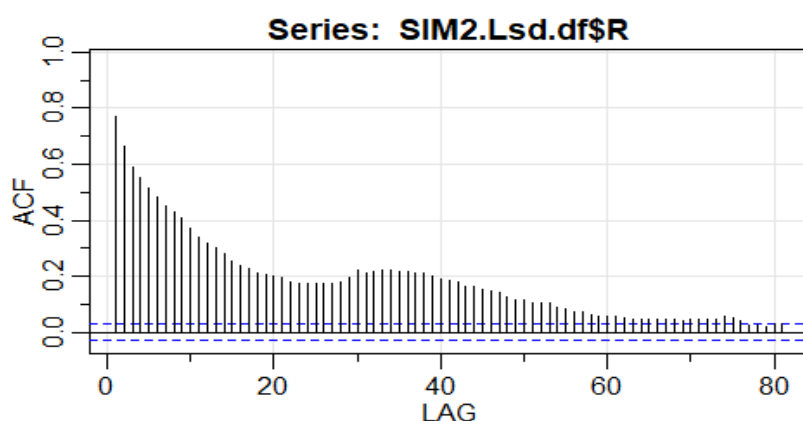


Fonte: O Autor

Com o aumento da heterogeneidade dos agentes no modelo, se fosse feita uma simples análise do valor final do capital, das estratégias de *backtest* poderia afirmar-se que o cenário 1 ainda seria mais vantajoso, porém ajustando os ganhos ao risco da ação vemos que houve uma melhora na consideração do retorno reduzindo a sua volatilidade.

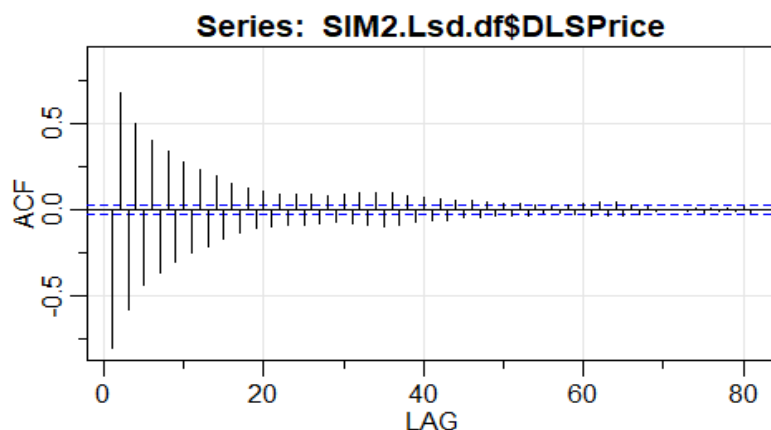
Nas Figuras 20 e 21 pode-se observar a queda rápida da autocorrelação tanto em retornos em *log* quanto em absolutos, embora ambos tenham experimentado ao meio da simulação uma ligeira tendência de alta, que, contudo, não se provou resistente.

Figura 20 - Autocorrelação dos retornos em log no cenário 2



Fonte: O Autor

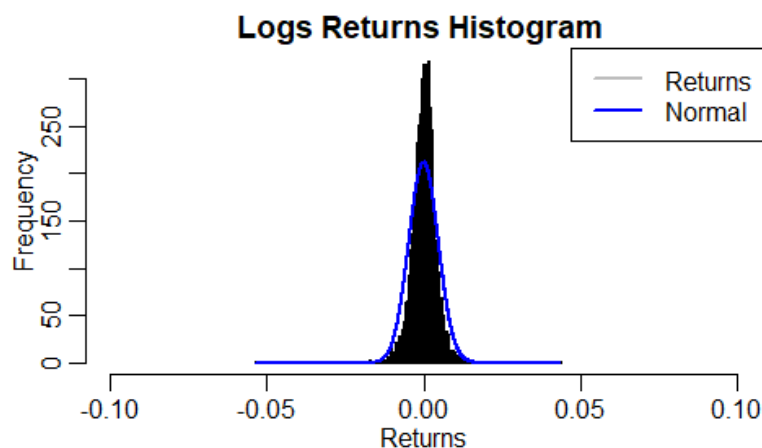
Figura 21 - Autocorreção linear dos retornos absolutos no cenário 2



Fonte: O Autor

A distribuição de retornos neste cenário não apresentou caudas pesadas, mas apresentou uma distribuição leptocúrtica como as observadas no cenário 1, como evidenciado pela Figura 22.

Figura 22 - Distribuição dos Retornos no cenário



Fonte: O Autor

Estas visualizações propiciam a elaboração do Quadro 2

Quadro 2. Valores das duas estratégias a partir do cálculo do Índice de Sharpe no cenário 2.

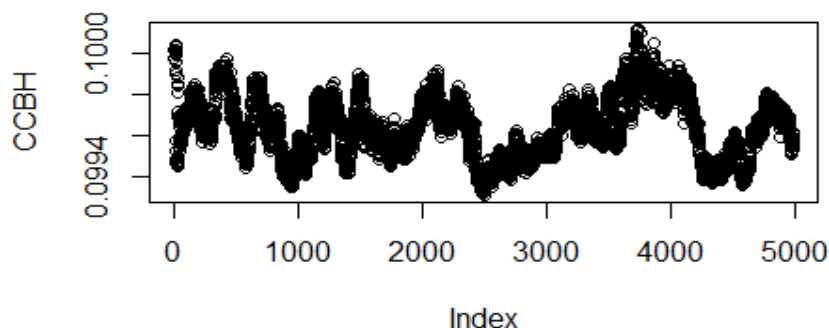
Cenário 2	<i>Buy and hold</i>	Cruzamento das MME 7 e 21
Retorno Médio	-0.00000767	0.0001969
Volatilidade	0.004618446	0.002529416
Índice de Sharpe	-0.001660732	0.077844056

Fonte: O Autor

Novamente a estratégia de cruzamento de médias exponenciais teve ganho, acima da técnica de *buy and hold*. Comparando os valores do melhor Índice de Sharpe do cenário 1 (0.056785898) ao do cenário 2, este último obteve aumento de 37% de

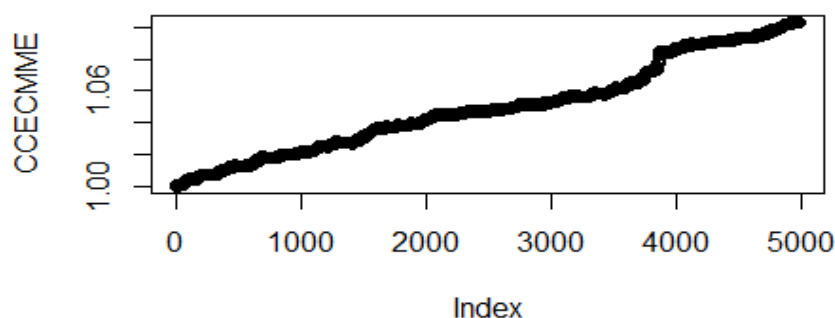
retorno ajustado ao risco, como evidenciado tanto pelo Quadro 2 como pelas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Setup da estratégia buy and hold no cenário 2



Fonte: O Autor

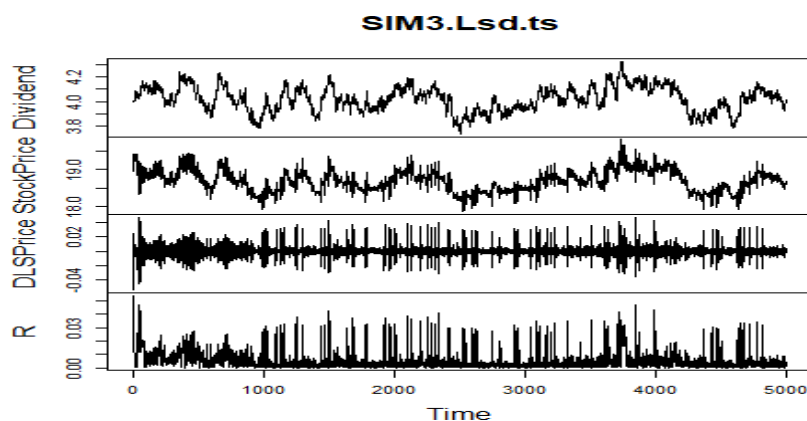
Figura 24. Setup da análise técnica cruzamento de médias no cenário 2



Fonte: O Autor

No cenário 3, com a adição de agentes contra a tendência que usam o Índice de Força Relativa para formular suas expectativas de preços, apresentaram-se excessos e aglomerações de volatilidade do preço da ação em comparação com seus dividendos. Os dois fatos estilizados podem ser observados claramente durante todo o período, como demonstrado pela Figura 25.

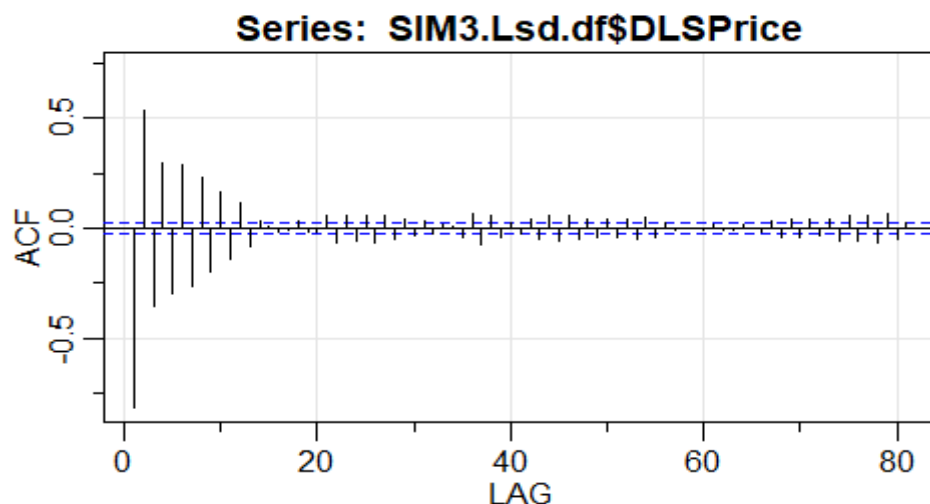
Figura 25 - Volatilidade de preços e retornos no cenário 3.



Fonte : O Autor

A autocorrelação dos retornos em logs decai rapidamente antes do período 20, mantendo-se não significativo próximo ao nível de 5%, reproduzindo o fato estilizado da ausência da autocorrelação dos retornos em log, conforme Figura 26.

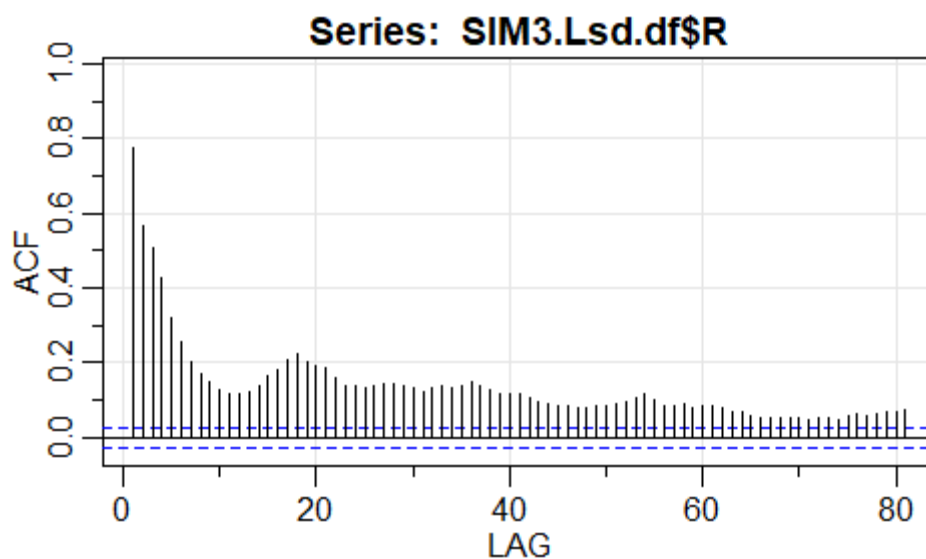
Figura 26 - Autocorrelação dos retornos em log no cenário 3.



Fonte: O Autor (2020).

Já a autocorrelação dos retornos absolutos é positiva e significativa ao nível de 5%, decaindo lentamente para zero para grandes defasagens, sendo este fato estilizado diretamente associado à aglomeração de volatilidade apresentada por esse cenário 3, conforme a Figura 27.

Figura 27 - Autocorreção linear dos retornos absolutos no cenário 3.

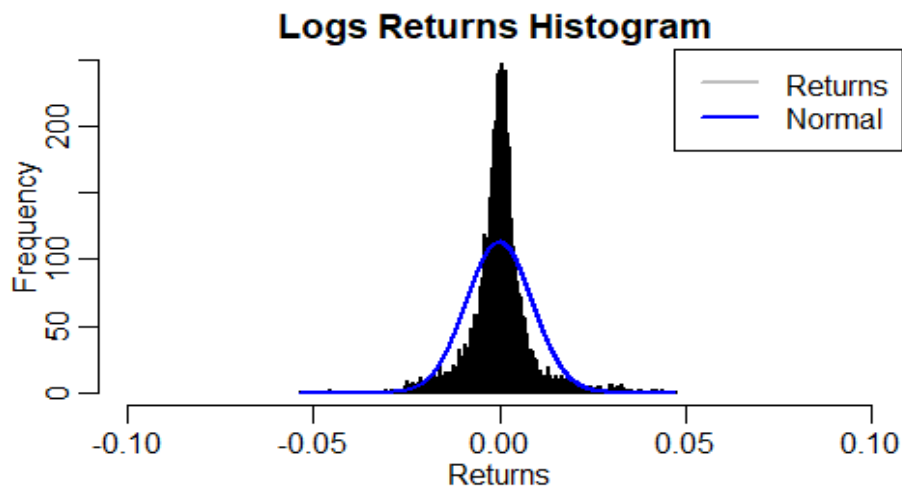


Fonte: O Autor

A distribuição dos retornos apresentou neste último cenário caudas pesadas e curtose positiva, conforme a Figura 28. Vale salientar uma proporção considerável

à direita da distribuição, que indica a possibilidade de um caminho para uma estratégia lucrativa, visto que representa os retornos positivos acima da distribuição normal

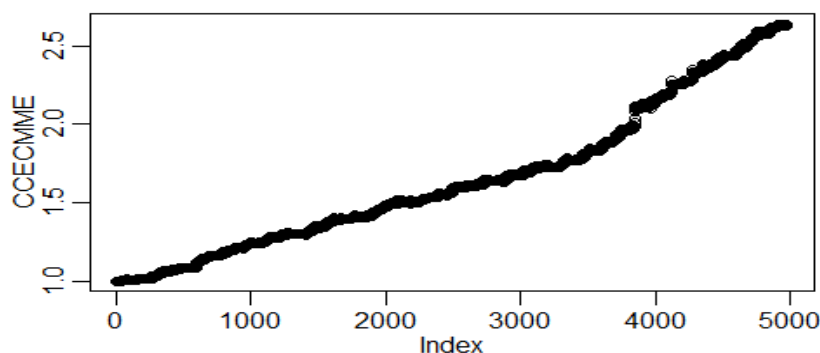
Figura 28 - Distribuição dos Retornos no cenário 3.



Fonte: O Autor

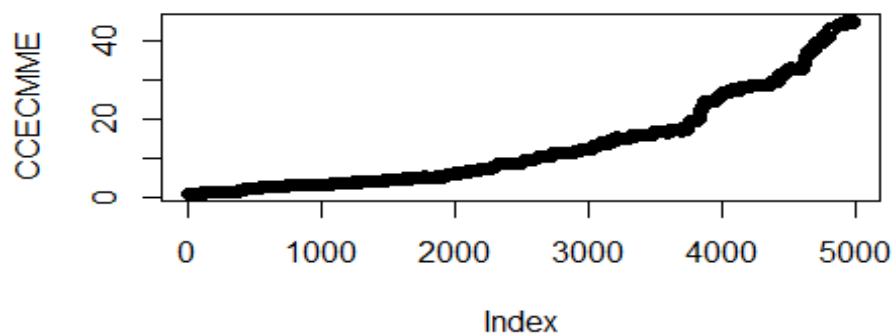
O desempenho deste cenário 3 através do *backtest* reporta ganhos no valor final da curva de capital em ambas as estratégias em comparação aos cenários 1 e 2. Ainda neste cenário 3, torna-se explícito que a estratégia de cruzamento de médias também se mostrou superior à de *buy and hold*, conforme Figuras 29 e 30.

Figura 29 - Setup da estratégia *buy and hold* no cenário 3.



Fonte: O Autor

Figura 30 - Setup da análise técnica cruzamento de médias no cenário 3.



Fonte: O Autor

A explicação para a melhora considerável na geração dos fatos estilizados e no ganho de capital segundo o *backtest* do cenário 3, pode ser atribuído ao conceito de *overreaction* das finanças comportamentais, no qual as decisões e interações de agentes que operam contra a tendência com o viés de atribuição ou excesso de confiança contribuem para desencadear uma reação exagerada para aumentos ou quedas de preços, conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Valores das duas estratégias a partir do cálculo do Índice de Sharpe no cenário 3.

Cenário 3	<i>Buy and hold</i>	Cruzamento das MME 7 e 21
Retorno Médio	-0.00000697	0.0007635
Volatilidade	0.008796389	0.006511859
Índice de Sharpe	-0.000792371	0.117247625

Fonte: O Autor

Realizando uma comparação entre os valores dos cenários e estratégias pelo Índice de Sharpe foi obtida uma classificação, apresentada no **quadro 4**.

Quadro 4. Comparativo e classificação dos valores dos cenários em cada estratégia a partir do cálculo do Índice de Sharpe.

Classificação		Cenário	Estratégia
1	0.1172476	3	Cruzamento MME721
2	0.0778441	2	Cruzamento MME721
3	0.0567859	1	Cruzamento MME721
4	-0.000208	1	<i>Buy and Hold</i>
5	-0.000792	3	<i>Buy and Hold</i>
6	-0.001661	2	<i>Buy and Hold</i>

Fonte: O Autor (2020).

Com a análise desse comparativo e da classificação proposta por ele, fica claro que a estratégia do cruzamento de médias exponenciais do cenário 3 foi a que mais demonstrou um ganho de capital anormal, sendo esse ganho de 50% maior que o observado no cenário 2, ambos já descontados o risco. Assim, pode-se inferir a possibilidade de uma estratégia de negociação lucrativa acima do mercado por meio do uso de setups ou estratégias da análise técnica.

Em suma, a presente dissertação avança do ponto de vista teórico em relação a Bertella (2017) e Higachi (2020), desde que acrescenta no ABM do mercado de ações artificial os *traders* grafistas que operam contra a tendência, os quais no processo de julgamento e formulação de expectativas de preços adotam a heurística

da ancoragem e da representatividade e sofrem do viés de auto atribuição e de excesso de confiança.

Com efeito, o ABM do mercado de ações artificial é capaz de gerar maior quantidade de fatos estilizados do mercado de ações: além de gerar o excesso de volatilidade como em Bertella *et. al.* (2017) e Higachi (2020), é capaz de reproduzir a ausência de autocorrelação serial em retornos, a distribuição com caudas pesadas e leptocúrticas de retornos, e a aglomeração de volatilidade como em Higachi (2020); e ainda a possibilidade de setups da análise técnica como o cruzamento de médias exponenciais de 7 e 21 períodos proporcionarem um retorno anormal ajustado pelo risco.

5 CONCLUSÃO

A adição de *traders* que adotam um setup contra a tendência na compra e venda de ações no ABM de Higachi *et al.* (2020), aumenta a capacidade de reproduzir e explicar os principais fatos estilizados do mercado de ações: excesso de volatilidade de preços e retornos, distribuição caldas pesadas e leptocúrticas de retornos em logs, aglomeração de volatilidade e capacidade de setups da análise técnica permitir formular previsões de preços de ações com ganhos positivos.

O aumento da heterogeneidade com *traders* grafistas seguidores de tendência e sobretudo que operam contra a tendência, e com sentimento variável contribui para explicar a capacidade de setups de análise técnica proporcionar um retorno acima do *benchmark*.

Com efeito, verifica-se a validade da hipótese da Teoria de Finanças Comportamentais que postula a possibilidade de lucros anormais ajustado ao risco, na presença de elevados riscos e de custos para agentes fundamentalistas racionais em operações de eliminação das ineficiências de mercado.

Os resultados da metodologia de *backtest* com lucros anormais da compra e venda de ações calcadas na estratégia de cruzamento de médias exponenciais MME (7) e MME (21) em comparação com a estratégia *Buy and Hold*, torna promissora para futuros trabalhos a modelagem do agente grafista que aplica este tipo de estratégia.

Por último, para explicar novos fatos estilizados do mercado de ações e corrigir as principais limitações desta dissertação, recomenda-se acrescentar no ABM de mercado de ações artificial:

- (i) O livro de ofertas de compras e de vendas de ações;
- (ii) O surgimento e a difusão de fatos relevantes do mercado de ações como anúncio de pagamento de dividendos e juros sobre capital próprio;
- (iii) O uso pelos *traders* grafistas de regras de controle do risco como *stop loss* e regras de controle da aversão ao risco como *stop gain*;
- (iv) Duas ou mais ações, para avaliar o efeito agregado de estratégias mais complexas de negociação de ações como estratégias *long-short* direcional, muito usado pelos fundos de investimento e grandes players do mercado.

Recomenda-se também a realização de estudos posteriores que, além de comprovar e aprofundar a eficácia deste, possam, com a adição de novas variáveis,

reproduzir condições cada vez mais próximas ao mercado real de ações e assim, possibilitar um embasamento melhor para a utilização das técnicas aqui descritas para a obtenção de lucros, visto que a limitação dos cenários aqui simulados pode também limitar ou alterar a forma como esses recursos podem ser aplicados no mercado.

REFERÊNCIAS

ALFI, V.; CRISTELLI, M.; PIETRONERO, L. *et al.* Minimal agent based model for financial markets I. **Eur. Phys. J. B** 67, 385–397. 2009

ARTHUR, W. B. Complexity in economic and financial markets. **Complexity**, v. 1, n. 1, p. 20-25, 1995.

BARBERIS, N.; THALER, R. A survey of behavioral finance, chapter 1. **Advances in Behavioral Economics**, v. 2, p. 1-75, 2005.

BERTELLA M. A.; PIRES, F. R.; FENG, L.; STANLEY, H. E. Confidence and the Stock Market: An Agent-Based Approach. **PLOS ONE**, v. 9, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083488>>. Acesso em: 11 out. 2019.

BERTELLA, M. A.; PIRES, F. R.; REGO, H. H. A.; SILVA, J. N.; VODENSKA, STANLEY, H. E. Confidence and self-attribution bias in an artificial stock market. **PLOS ONE**, v. 12, n. 2, 2017. Disponível em: <[doi: 10.1371/journal.pone.0172258](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172258)>. Acesso em: 11 out 2019

OAINAIM, P.; PEREIRA, P. Ombro-Cabeça-Ombro”: Testando a Lucratividade do Padrão Gráfico de Análise Técnica no Mercado de Ações Brasileiro” **MPRA Paper** 15653. 2009.

BOUCHAUD, J; MATA CZ, A; POTTERS, M. Leverage effect in financial markets: The retarded volatility model. **Physical review letters**, v. 87, n. 22, p. 228701, 2001.

CUTLER, D. M.; POTERBA, J. M. L. H, Summers, “What Moves Stock Prices?”. **The Journal of Portfolio Management**, p. 4-12, 1989.

CONT, R. Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues. **Quantitative Finance**. 1. 223-236. 2000

DANIEL, K.; HIRSHLEIFER, D.; SUBRAHMANYAM, A. Investor psychology and security market under-and overreactions. **The Journal of Finance**, v. 53, n. 6, p. 1839-1885, 1998.

FAMA, E. The behavior of Stock-Market Prices. **Journal of Finance**, n.25, 1970.

HAYDEN, J. H. RSI: the complete guide. Greenville, SC, **Traders Press**, 2004.

HIGACHI, H.; FARIA, A. de; SBICCA, A.; KATO, J. Anchoring Heuristics, Investor Sentiment and Stylized Facts in the Stock Market: An Agent Based Model. **Theoretical Economics Letters**, n.10, p. 198-217, 2020.

HUTSON, J. Filter Price Data: Moving Averages Versus Exponential Moving Averages. **Technical Analysis of Stock & Commodities**, may/june, v. 2, n. 5/6, 1984.

KAUFMAN, P. J. **Trading systems and methods**. 5th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2013.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. **Econometrica**, v. 47, n. 2, p. 263-292, 1979.

LEBARON, B. Agent-based financial markets: Matching stylized facts with style. **Post Walrasian Macroeconomics: Beyond the DSGE Model**, p. 221-235, 2006.

LOVRIC, M. **Behavioral Finance and Agent-Based Artificial Markets**. 2011. Tese. (Doutorado em Finanças) Erasmus University Rotterdam, Rotterdam. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/18510215.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2019.

MORGAN, J. P. RiskMetrics™--Technical Document, Morgan Guaranty Trust Companies. **Inc. New York**, 1996.

RABIN, M. Inference by believers in the law of small numbers. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 117, n. 3, p. 775-816, 2002.

SANTANA, G. F. **O Poder de previsão da Análise Técnica** (uma aplicação para o mercado futuro de IBOVESPA).1997. Dissertação (Mestrado em Economia) Fundação Getúlio Vargas/EAESP, São Paulo, 1997.

SEITA, M. R. **Simulação multi agente em mercados financeiros artificiais utilizando algoritmos genéticos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Economia) - Escola de Economia de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

SHARPE, W. F. The sharpe ratio. **Journal of portfolio management**, v. 21, n. 1, p. 49-58, 1994.

WILDER, J. W. **New concepts in technical trading systems**. Trend Research, 1978.