

Aversão à perda em um mercado acionário virtual: uma abordagem *agent-based**

Loss Aversion in a Virtual Stock Market: An Agent-based Approach

Erika Regina da Silva Gallo, Mario Augusto Bertella e Celso Nobre da Fonseca**

Resumo: neste trabalho, temos a intenção de contribuir com o debate na área de economia e finanças comportamentais ao realizar um estudo sobre o comportamento do mercado acionário ao incluirmos o viés de comportamento aversão à perda aos agentes que ali operam. Para tanto, apresentamos um modelo baseado em agentes aplicado ao mercado acionário que foi programado em *NetLogo*, cujo método é, em parte, baseado em modelos de agentes já programados para mercados financeiros artificiais e, ao mesmo tempo, parcialmente novo ao propor a realização de testes com variáveis diferentes das utilizadas por outros autores – a saber: aversão à perda. Os resultados encontrados sugerem que a subjetividade humana presente na tomada de decisão, isto é, quando os agentes possuem aversão à perda, faz com que o movimento do mercado acionário artificial apresente alguns ruídos. Destarte, concluímos que os experimentos realizados nos oferecem indícios de que há certa fragilidade em alguns pressupostos da Hipótese dos Mercados Eficientes.

Palavras-chave: Teoria da Decisão. Economia Comportamental. Finanças Comportamentais. Mercado Financeiro. Modelo Baseado em Agentes.

Abstract: in this work, we intend to contribute to the debate in behavioral economics and finance to conduct a study on how stock markets behave by including loss aversion in this environment. We present an agent-based model applied to the stock market which was programmed in *NetLogo*, that has, partly, agent-based models already programmed for artificial financial markets and at the same time is partially new to propose experiments, which differ from other variables used by several authors, such as loss aversion. The results suggest that human's subjectivity, that is, when agents have loss aversion, inherently presented in decision-making, may cause some noise in the artificial stock market movement. Thus, we conclude that the experiments give us evidence that there is some fragility on the Efficient Market Hypothesis.

* Submissão: 13/12/2020 | Aprovação: 15/07/2021 | DOI: 10.5380/re.v43i81.78465

** Respectivamente: (1) Doutoranda, Instituto de Economia, Unicamp, Brasil | ORCID: 0000-0002-1263-1390 | E-mail: erika.reginagallo@gmail.com | (2) Professor-Associado do Departamento de Economia, FCLAR/UNESP, Brasil | ORCID: 0000-0003-3237-0455 | E-mail: mario.bertella@unesp.br | (3) Professor da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Brasil | ORCID: 0000-0003-2512-028X | E-mail: celsosfonseca@unipampa.edu.br



Keywords: Decision Theory; Behavioral Economics; Behavioral Finance; Stock Market; Agent-Based Model.

JEL: D910. G410.

1. Introdução

Diferentes pensadores buscaram, em diferentes épocas e de diferentes maneiras, responder a distintas questões sobre o comportamento e o pensamento humano, tais quais: como os indivíduos tomam decisões? Quais os parâmetros que norteiam essas decisões? Tais decisões podem ser previstas? Quais os impactos que essas decisões exercem sobre a esfera econômica, política e social?

Essa curiosidade intrínseca à raça humana – em se conhecer, se entender e, assim, poder prever acontecimento futuros e mitigar a incerteza do porvir – fez as ciências exatas e humanas se ramificarem em inúmeras disciplinas e se dedicarem a múltiplos objetos de pesquisa na busca por responder tais questões.

Dentre as inúmeros respostas – às questões supracitadas – que surgiram ao longo da evolução do pensamento econômico e financeiro, a Hipótese dos Mercados Eficientes (HME) representa uma frente clássica em finanças na busca por responder como o comportamento dos agentes (isto é, suas decisões e escolhas) se refletem no mercado financeiro como um todo.

Tendo por base os trabalhos de Markowitz (1952), Sharpe (1964) e Fama (1970), a HME traz em seu âmago dois pressupostos fundamentais. O primeiro diz respeito à característica do agente e do seu processo decisório – que se fundamenta através da teoria econômica neoclássica (modelo padrão de comportamento), na qual os agentes são vistos como racionais e maximizadores de utilidade. O segundo diz respeito à eficiência do mercado – no qual os preços dos ativos refletem toda e qualquer informação que esteja disponível no mercado, inclusive as informações relativas ao valor fundamental das ações, sendo as informações acessíveis a todos os agentes de maneira simétrica. Assim, os agentes que transacionam no mercado acionário ou de capitais não poderiam obter taxa de retorno acima da média do mercado, visto que todos detêm as mesmas informações e buscam atingir o mesmo objetivo: maximizar sua utilidade (capital investido). Desta maneira, em um mercado funcionando em acordo com a HME, as bolhas, crises no sistema financeiro, movimentos especulativos, excesso de volatilidade dos preços e do volume dos ativos negociados e assimetria, dentre outras anomalias, não seriam movimentos plausíveis no mercado financeiro.

Contra-pondo-se às premissas econômicas da racionalidade dos agentes e à HME (mercados completamente simétricos), a economia e finanças comportamentais vêm pesquisando e publicando diversos trabalhos que

demonstram como a subjetividade humana influencia na tomada de decisão, causando impactos diretos no mercado financeiro.

Desta forma, por meio da técnica de modelagem baseada em agentes, o presente artigo propõe analisar o resultado da interação de agentes heterogêneos, detentores de viés comportamental – de acordo com os estudos explorados pela economia e finanças comportamentais – em um ambiente acionário artificial. Sendo assim, perguntamos: i) em um ambiente financeiro artificial, se inserirmos agentes heterogêneos com diferentes níveis de “aversão à perda”, em diferentes períodos, observaremos algum efeito em termos de volatilidade, assimetria, curtose, isto é, em seus coeficientes de tendência central e de variabilidade? ii) O que muda na dinâmica quando considerarmos apenas a heterogeneidade comportamental dos grafistas sem levar em conta a aversão à perda?

Para que sejam respondidas ambas as questões, faremos uso da metodologia de modelos baseados em agentes. Segundo Macal e North (2010), o modelo baseado em agentes (MBA) é um método analítico relativamente recente, extremamente útil para os estudos de sistemas complexos, composto de agentes autônomos que interagem uns com os outros. No MBA, estes podem ser homogêneos ou heterogêneos e podem possuir diferentes características comportamentais. Como resultado, os padrões, estruturas e comportamento emergentes surgem da interação entre os agentes e o ambiente onde estão inseridos.

Segundo LeBaron (2005), os mercados financeiros são atraentes para aplicação dos MBA por várias razões, mas principalmente porque diversos debates em economia e finanças – relacionados à racionalidade dos agentes econômicos e à eficiência dos mercados – são bastante controversos entre os pesquisadores. Sendo assim, os modelos computacionais ajudam a melhor interpretar a realidade, pois levam em consideração fatores importantes como a subjetividade humana (caracterizada neste trabalho pela aversão à perda).

Dentre as diversas possibilidades que o MBA nos oferece, encontra-se o uso de ambientes simulados que nos permitem testar algumas premissas da teoria econômica e financeira – como, por exemplo, a racionalidade neoclássica vs. a subjetividade humana em tomadas de decisões e o impacto que os vieses comportamentais podem causar no mercado acionário como um todo.

Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo a criação de um mercado acionário artificial, no qual se fazem presentes multiagentes com diferentes características comportamentais e que parametrizam suas decisões de investimento de maneira distinta.

Para tanto, apresentamos um modelo baseado em agentes aplicado ao mercado acionário programado em NetLogo, cujo método é, em parte, baseado em modelos de agentes anteriores (Pires, 2012; Bertella *et al.*, 2014) e, ao mesmo tempo, parcialmente novo ao propor a realização de testes com variáveis diferentes das utilizadas por outros autores – a saber: a incorporação da aversão à perda no comportamento dos investidores grafistas.

Desta forma, em um primeiro momento, discorreremos de maneira sinóptica sobre a hipótese dos mercados eficientes, a teoria do prospecto e aversão à perda. Sequencialmente, apresentaremos o modelo propriamente dito e seus resultados.

2. A racionalidade econômica na hipótese dos mercados eficientes

Os pressupostos da economia neoclássica de que os agentes ao tomarem decisões seguem um padrão axiomático, racional e maximizador, são bases para o desenvolvimento teórico da Hipótese dos Mercados Eficientes (HME).

De acordo com a hipótese, em um mercado eficiente, os agentes que ali operam são considerados homogêneos, isto é, todos os agentes possuem as mesmas características comportamentais e parametrizam suas decisões de investimento através de uma função utilidade que busca maximizar seu capital investido. São seres munidos de uma capacidade racional ilimitada e estão aptos a analisar todas e quaisquer informações disponíveis no mercado a fim de tomarem decisões coerentes que visem a otimização de sua utilidade (riqueza). Os vieses cognitivos e psicológicos dos agentes não suscitam ruídos no longo prazo no mercado financeiro, pois mesmo que haja *noise traders*, isto é, agentes irracionais operando nesse mercado, suas más decisões de investimento serão rapidamente arbitradas por agentes racionais. Desta forma, a arbitragem passa a ser um fundamento importante no entendimento da HME, pois anula os efeitos das “más decisões” nos preços dos ativos fazendo com que os mesmos voltem ao seu valor fundamental.

Na HME, a suposição da racionalidade dos agentes implica que a precificação dos ativos seja feita pelo seu valor fundamental, isto é, o valor presente de seus fluxos de caixa descontados pelo seu risco. Ademais, quaisquer

informações que possam alterar o valor fundamental do ativo serão rapidamente absorvidas pelos agentes racionais de modo a aumentar ou diminuir o preço do ativo. Com isso, os preços dos ativos incorporam toda e qualquer informação, ajustando os preços ao seu nível correspondente (valor fundamental). De acordo com Ross, Westerfield e Jaffe (2002), em sua forma mais extrema, a HME diz que em um mercado operando de maneira eficiente a precificação dos ativos está sempre correta. Logo, não há possibilidade de “ganhos” acima da média do mercado de modo que seria mais prudente, aos agentes, manter passivamente suas carteiras de ativos (portfólios).

Na definição clássica da HME, trazida por Fama (1970), um mercado eficiente é aquele onde os preços dos ativos refletem toda a informação disponível no mercado de modo a descartar a possibilidade de ganhos acima da média do mercado. Seu funcionamento envolve três condições muito restritivas, quais sejam: i) inexistência de custos de transação no mercado de títulos; ii) informação simétrica, isto é, todos os agentes têm acesso a todas as informações disponíveis no mercado; iii) a interpretação das informações é feita de maneira padronizada por todos os agentes.

Segundo Ikeda e Rabelo (2004), a hipótese dos mercados eficientes é considerada um dos pilares da literatura clássica de finanças. Deste modo, torna-se apropriado o teste de algumas premissas da HME através da elaboração de um MBA em um ambiente financeiro.

3. Teoria do prospecto e aversão à perda

Não são poucos os trabalhos que usaram os preceitos trazidos por Kahneman e Tversky para questionar os postulados econômicos neoclássicos aplicados às finanças e, por isso, os trabalhos desenvolvidos por esses autores serviram de inspiração deste e de tantos outros trabalhos que buscam identificar vieses de comportamento no mercado financeiro.

Nos diversos trabalhos publicados pelos autores, a saber: Kahneman e Tversky (1972, 1979, 1984), Kahneman (2011) e Tversky e Kahneman (1974), são apresentados inúmeros experimentos que mostram haver uma desconexão entre o comportamento dos agentes presentes na teoria neoclássica e o agente em uma situação real de escolha. Tais experimentos os conduziram ao levantamento de diversas hipóteses quanto à validade do “padrão” axiomático proposto pela escola

neoclássica no que tange à racionalidade dos agentes e ao processo de tomada de decisão.

Segundo Kahneman, a descrição do “agente econômico” – que é racional, egoísta e possui preferências perfeitamente definidas – por si só, mostra haver um hiato entre o conceito de “agente” estudado pela economia e pela psicologia¹; “Para um psicólogo, é evidente que as pessoas não são nem completamente racionais, nem completamente egoístas, e que seus gostos podem ser tudo, menos estáveis” (Kahneman, 2011, p. 335).

Partindo dessa percepção, Kahneman e Tversky, por cerca de cinco anos, dedicaram-se à realização de diversos experimentos com o objetivo de identificar o comportamento dos agentes em situações de escolha mediante o risco e a incerteza, de modo a oferecer uma análise mais adequada do comportamento real das pessoas.

Deste modo, a “*Prospect Theory*” de Kahneman e Tversky foi modelada tendo em seu âmago o questionamento da teoria da utilidade esperada e seus postulados (racionalidade dos agentes e a aversão absoluta ao risco).

- **Aversão à perda**

Contrariando os axiomas e postulados apresentados por Von Neumann e Morgenstern (1944) e Savage (1954), Kahneman e Tversky (1979) propõem que os agentes em uma situação decisória sob risco e incerteza não pensam no resultado relativo à maximização da quantidade (em termos de estado de riqueza), mas pensam em termos de ganhos e perdas.

Essa representação parece psicologicamente irrealista: as pessoas não pensam nos resultados relativamente pequenos em termos de estado de riqueza, mas antes em termos de ganhos, perdas e resultados neutros (tal qual a manutenção do *status quo*) (Kahneman, 2011, p. 541-542).

Assim, ao incluírem as perdas na tomada de decisão, os autores observam que, dependendo do problema de decisão com o qual o agente se depara, a aversão

¹ Thaler, em uma publicação intitulada “*Misbehaving: The Making of Behavioral Economics*” (2015), trata das diferenças de comportamento do que ele chama de *Humans vs Econs*. Os Econs representam os indivíduos da teoria econômica, agentes idealizados, pouco representativos da realidade, e que, pouco, ou nada, têm em comum com os *Humans*, indivíduos reais, que interagem entre si, que julgam e tomam decisões cotidianas, como escolher um shampoo no supermercado ou, até mesmo, decisões mais complexas como realizar aplicações financeiras.

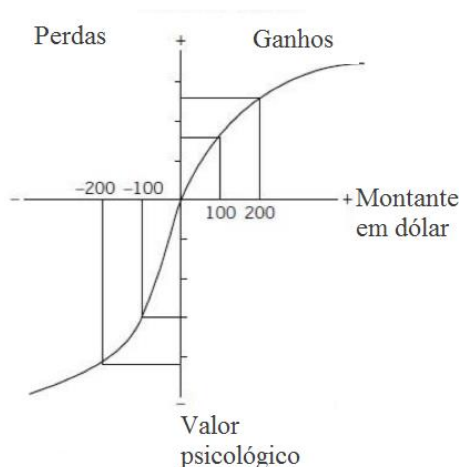
ao risco se transforma em busca pelo risco simplesmente porque os indivíduos não maximizam sua utilidade parametrizados pela sua riqueza, mas sim por suas vitórias e derrotas.

O motivo para você gostar da ideia de ganhar cem dólares e não gostar da ideia de perder cem dólares não é que essas quantias mudam sua riqueza. Você simplesmente gosta de ganhar e não gosta de perder – e quase certamente não gosta de perder mais do que gosta de ganhar (Kahneman, 2011, p. 350).

São três as características cognitivas centrais da teoria do prospecto que, segundo os autores, desempenham um papel fundamental na avaliação dos resultados financeiros. São elas: i) *Ponto de referência* – pode ser expressado como o *status quo*, ou resultado esperado, em situações que envolvem expectativas de resultados financeiros; ii) *Sensibilidade decrescente* – em termos financeiros, um exemplo seria: a percepção de que a diferença subjetiva entre novecentos reais e mil reais é menor do que a diferença entre cem e duzentos reais; iii) *Aversão à perda* – seria a ponderação de um determinado evento ou valor financeiro que, quando comparados, as perdas inferem maior impacto na percepção do indivíduo do que os ganhos. Assim, uma projeção negativa (formação de expectativa negativa) de um determinado evento ou valor impacta (psicologicamente) de maneira mais acentuada do que os ganhos na tomada de decisão dos indivíduos.

Desses três princípios, resulta a figura 1:

Figura 1 – Teoria do Prospecto



Fonte: Kahneman (2011, p. 352).

A figura 1 mostra aquilo que os autores chamarão de *valor psicológico de ganhos e perdas*. Esse valor, segundo a teoria do prospecto, é a real motivação na hora de avaliar uma decisão em um cenário de risco e incerteza, diferentemente do modelo neoclássico que propõe que a real motivação na tomada de decisão é o estado de riqueza, ou seja, o valor financeiro final.

Como podemos observar, a figura 1 possui um ponto central neutro (ponto de referência) e dois lados: direito – representando os ganhos – e esquerdo – representando as perdas. Uma característica relevante é a sua forma em S, que representa uma sensibilidade decrescente tanto para ganhos quanto para perdas. Finalmente, a curva não é simétrica, isto é, a inclinação da função muda a partir do ponto de referência, mostrando uma reação mais acentuada para perdas do que para os ganhos – essa inclinação explica a aversão à perda.

De modo geral, as ideias centrais da teoria do prospecto são a utilização do ponto de referência em processos de julgamento e que, em situações que envolvem risco e incerteza, o ponto de referência pode levar ao viés comportamental “aversão à perda”, pois o comportamento avesso à perda é orgânico, faz parte da subjetividade humana. E, dependendo da situação de escolha em que o indivíduo se encontra, sua aversão será maior ou menor.

De fato, após a leitura da teoria do prospecto, concluímos que a aversão à perda não é um fato consumado, isto é, não é um evento concreto, mas sim uma percepção, de modo que poderíamos dizer que a aversão à perda deriva de uma formação de expectativa negativa. Em um mercado acionário, uma comparação entre o preço efetivo (preço de mercado) e a expectativa de preços, de um determinado ativo, pode levar à aversão à perda.

Destarte, partindo dessa afirmativa, no modelo elaborado e descrito nesse artigo, buscaremos retratar como a aversão à perda, oriunda de uma expectativa de preço negativa, impacta no mercado acionário como um todo. Em uma situação que envolve risco e incerteza – como é o caso do mercado acionário – um preço de mercado inferior ao preço esperado sinaliza uma perda para o agente que está posicionado nesse mercado, isto é, para agentes que possuem esse ativo em suas carteiras. De modo equivalente, se o preço de mercado for maior que sua expectativa de preço, o agente considerará um ganho.

4. O mercado financeiro artificial

Feitas as considerações iniciais, passaremos a elaborar o MBA. O mercado acionário artificial aqui criado tem uma estrutura comum ao modelo de Santa Fé ou SF-ASM – da sigla em inglês². Ele será constituído tendo como base as seguintes premissas:

- O mercado é composto por 100 agentes, divididos entre fundamentalistas e grafistas.
- Os agentes não podem migrar de estratégia, ou seja, o número de agentes que opera seguindo uma estratégia ou outra é predeterminado.
- Os agentes grafistas são segmentados de três formas distintas conforme sua formação de expectativa, comprimento de memória e aversão à perda. Assim, dentro desse grupo (grafistas) haverá três “tipos” de agentes que poderão ser definidos arbitrariamente como Grafista_x, Grafista_y e Grafista_z³.
- Todos os agentes poderão escolher entre duas opções de investimento; i) ativo de risco (ação), que paga um dividendo estocástico d , e; ii) ativo livre de risco que é remunerado por uma taxa de juros r .
- O tempo é discreto e indexado por t e o horizonte de tempo⁴ aqui utilizado foi de 520 unidades de tempo.

Funcionamento do mercado acionário artificial

Dividendo

O dividendo corrente, pago por ação em cada período de tempo, é gerado por um processo estocástico exógeno idêntico aos trabalhos de Arthur *et al.* (1997), LeBaron, Arthur e Palmer (1999), Pires (2012) e Bertella *et al.* (2014), ou seja,

$$d_t = \bar{d} + \rho \cdot (d_{t-1} - \bar{d}) + \varepsilon_t , \quad (1)$$

² É importante ressaltar que o mercado acionário aqui criado tem formação similar a do *Santa Fe Stock Market*, também utilizado nos trabalhos de Pires (2012) e Bertella *et al.* (2014), diferenciando-se na formação de expectativas dos agentes, valores de determinados parâmetros e na inclusão de memória e subjetividade decisória do agente grafista. É inovador ao propor, nesse modelo, a inclusão do viés comportamental “aversão à perda”.

³ A definição de memória e aversão à perda, que distingue os agentes, será apresentada no subtópico “Formação de expectativa do agente grafista”.

⁴ A escolha por 520 unidades de tempo foi feita levando-se em consideração que um ano útil tem em torno de 260 dias, portanto, um período de 520 dias equivale a dois anos úteis, o que nos permite uma análise de longo prazo.

Onde: d_t : dividendo corrente; \bar{d} : dividendo inicial; d_{t-1} : dividendo do período anterior; ε_t : possui distribuição normal com média 0 e variância finita σ^2 e $0 < \rho < 1$.

Preço

O preço corrente da ação no período t é dado pelo excesso de demanda/oferta no mercado. De acordo com o trabalho de Farmer e Joshi (2002), Pires (2012) e Bertella *et al.* (2014), o ajuste do preço é derivado pela seguinte equação:

$$p_t = p_{t-1} e^{\frac{C_t - V_t}{\beta}}, \quad (2)$$

onde C_t : quantidade total de ordem de compra do agente i no tempo t ; V_t : quantidade total de ordem de venda do agente i no tempo t ; β : representa um fator que amortece as flutuações de mercado.

Taxa de retorno do ativo de risco

Para analisarmos o movimento do mercado, definiremos uma taxa de retorno idêntica à utilizada em outros mercados artificiais. Essa será composta por dois elementos fundamentais, a saber: i) ganhos de capital – onde o preço da ação é apurado através do confronto entre oferta e demanda de ações de todos os agentes que ali operam; ii) dividendos – apurados conforme equação (1).

Deste modo,

$$\varphi = \frac{p_t - p_{t-1} + d_t}{p_{t-1}}, \quad (3)$$

onde φ descreve a taxa de retorno global da do ativo de risco no período t .

Demanda e maximização da utilidade esperada do recurso financeiro dos agentes

Com relação à formação da demanda e maximização do recurso financeiro dos agentes, é importante destacar que a função utilidade do agente segue o padrão neoclássico⁵, assim temos:

$$U(W_{i,t}) = -e^{(-\lambda w_{it})} , \quad (4)$$

Onde $W_{i,t}$: representa o recurso financeiro do agente i no tempo t ; λ : corresponde ao nível de aversão ao risco dos agentes.

Uma das principais questões tratadas pelos agentes nesse modelo é a alocação e maximização do seu recurso financeiro e, conseqüentemente, a tomada de decisão de investimento. Assim, o portfólio de ativos do agente i em cada período de tempo t é composto por aplicações financeiras entre um ativo de risco e/ou um ativo livre de risco.

Deste modo, cada agente i terá o mesmo valor financeiro inicial W_0 . No restante do período, o recurso financeiro disponível para aplicação financeira será:

$$W_{i,t} = qd_{i,t} (p_t + d_t) + (W_{i,t-1} - p_t \cdot qd_{i,t})(1 + r) , \quad (5)$$

onde $W_{i,t}$: representa a quantidade de recurso financeiro de cada agente i no período t ; $qd_{i,t}$: representa a quantidade demandada pelo agente i no período t ; r : representa a taxa de juros que remunera o ativo livre de risco.

Assim sendo, o problema de maximização da utilidade esperada do agente i será:

$$\max E[U(W_{i,t+1})] , \quad (6)$$

s.a

$$W_{i,t+1} = qd_{i,t} (p_{t+1} + d_{t+1}) + (W_{i,t} - P_t \cdot qd_{i,t})(1 + r) , \quad (7)$$

Deste modo, como resultado do problema de maximização, a quantidade ótima de ação que será demandada pelo agente i no tempo t será:

⁵ É importante ressaltar que, em nosso primeiro experimento, todos os agentes são homogêneos, com uma estrutura de escolha racional neoclássica e serão classificados como agentes fundamentalistas. Posteriormente incluiremos, em nosso modelo, agentes grafistas que utilizam outros mecanismos de escolha.

$$qd_{i,t} = \frac{E_{i,t}(p_{t+1} + d_{t+1}) - p_t \cdot (1+r)}{\lambda \sigma_{i,t,p+d}^2}, \quad (8)$$

onde $\sigma_{i,t,p+d}^2$ é a variância percebida dos retornos.

Apontada a demanda ótima do agente i no tempo t , a negociação de compra e venda de ações será determinada conforme trabalho de Chen e Yeh (2001), Farmer e Joshi (2002), Pires (2012) e Bertella *et al.* (2014). Assim,

$$c_{it} = \begin{cases} qd_{i,t} - qd_{i,t-1}, & qd_{i,t} \geq qd_{i,t-1} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (9)$$

e

$$v_{it} = \begin{cases} qd_{i,t-1} - qd_{i,t}, & qd_{i,t} < qd_{i,t-1} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (10)$$

sendo c_{it} : representa ordem de compra do agente i no período t ; v_{it} : representa ordem de venda do agente i no período t .

Deste modo, a quantidade total de compra e venda será dada por:

$$C_{it} = \sum_{i=1}^N c_{it} \quad (11)$$

$$V_{it} = \sum_{i=1}^N v_{it} \quad (12)$$

sendo C_{it} a quantidade total de ordens de compra e V_{it} , a quantidade total de ordens de venda - o preço de mercado do ativo de risco (equação 2) se ajustará em termos de oferta e demanda, conforme as equações (11) e (12).

Formação de expectativa do agente fundamentalista

Os agentes chamados fundamentalistas possuem como características cruciais a racionalidade, aversão absoluta ao risco e a busca pela maximização da utilidade de sua riqueza. Nesse modelo, os agentes fundamentalistas formarão expectativas quanto a: i) dividendos futuros – projetada a partir do modelo de *Dividend yield*, e; ii) preço futuro – que será dada pelo modelo de Gordon.

- *Dividendos Futuros*

Partindo do *Dividend Yield* (dy), ou seja, de um índice de crescimento dos dividendos, os agentes farão uma projeção do valor futuro do dividendo. Assim:

$$E(d_{t+1}) = d_t \cdot (1 + dy) , \quad (13)$$

em que

$$dy = \frac{\alpha}{p_t} , \quad (14)$$

onde α é a projeção de mercado do valor mínimo que será pago em forma de dividendo por ação.

- *Preço futuro*

Usando como base o modelo de Gordon, temos que a expectativa de preço futuro ou valor fundamental será dado por:

$$dE(p_{t+1}) = \frac{d_{t+1}}{r - g} , \quad (15)$$

sendo r : taxa mínima de retorno exigida pelo agente – nesse modelo, essa taxa tem valor equivalente à taxa que remunera o ativo livre de risco; g : refere-se à taxa de crescimento perpétuo dos dividendos – projetado pelo mercado.

Formação de expectativa do agente grafista

Os agentes grafistas aqui apresentados diferem-se dos agentes fundamentalistas em apenas dois pontos: i) possuem um aspecto da subjetividade humana – aqui nesse trabalho incluiremos o viés comportamental de aversão à perda (ω) em conformidade com os trabalhos de Kahneman e Tversky (1979, 1984) e Kahneman (2011); ii) possuem comprimento de memória (m), logo, levam em consideração na formação de expectativa e na tomada de decisão os preços passados.

Os agentes grafistas, diferentemente dos agentes fundamentalistas, formam suas expectativas somente com relação ao preço, sendo assim, não formam expectativas quanto aos dividendos, nem buscam referência em um valor fundamental das ações. Sua formação de expectativa levará em consideração uma série temporal dos preços. Deste modo, os agentes grafistas formarão suas

expectativas de três maneiras distintas, conforme sua aversão à perda e seu comprimento de memória⁶.

Assim temos,

- Grafista_x : cujo comprimento de memória será $m = 10$ e aversão à perda $\omega = 2.00$.
- Grafista_y: cujo comprimento de memória será $m = 20$ e aversão à perda $\omega = 1.50$.
- Grafista_z : cujo comprimento de memória será $m = 30$ e aversão à perda $\omega = 1.00$

A média da aversão à perda (ω) é 1,50, em conformidade com publicação de Kahneman (2011, p. 353): “A aversão à perda foi estimada em diversos experimentos e normalmente fica na faixa de 1,5 a 2,5”. Neste trabalho, a aversão à perda foi distribuída da seguinte maneira: quanto menor a memória, ou seja, a série histórica dos preços, maior será o impacto do coeficiente de aversão à perda ω na sua formação de expectativa de preços futuros – quando ocorrer uma perda efetiva. Note-se que o grafista z possui aversão à perda igual a 1. Este valor foi estabelecido para que a média da aversão à perda (1,5) se situasse no intervalo mínimo obtido por Kahneman (2011) e, com esta especificação, procura-se identificar o efeito que a incorporação da aversão à perda em um valor mínimo trará na dinâmica do preço da ação, sua taxa de retorno e seu distanciamento do valor fundamental ou intrínseco. Isto é, o objetivo é verificar o impacto que a aversão à perda em seu limite mínimo provocará nas variáveis de preço e retorno. Note também que, desta forma, entendemos que a aversão à perda não pode ser percebida como característica geral do processo decisório de todas as pessoas (Rakow; Cheung; Restelli, 2020).

A formação de expectativa de preço é construída da seguinte maneira:

$$E(p_{t+1}) = p_{t-1} \cdot (1 + \gamma_{t-m}) , \quad (16)$$

⁶ A definição das regras de previsão de preços futuros dos agentes grafistas, aqui tratada, a diferenciação dos agentes grafistas por comprimento de memória e a utilização de série histórica de preços passados foi inicialmente apresentada por Takahashi e Terano (2003) e posteriormente também utilizada por outros autores.

onde

$$\bullet \text{ Para } m = 10: \gamma_{t-m} = \frac{1}{m} \cdot \left[\frac{p_{t-1}}{\sum p_{t-m-1}} - 1 \right] \quad (17)$$

$$\bullet \text{ Para } m = 20: \gamma_{t-m} = \frac{1}{m} \cdot \left[\frac{p_{t-1}}{\sum p_{t-m-1}} - 1 \right] \quad (18)$$

$$\bullet \text{ Para } m = 30: \gamma_{t-m} = \frac{1}{m} \cdot \left[\frac{p_{t-1}}{\sum p_{t-m-1}} - 1 \right] \quad (19)$$

Deste modo, os agentes grafistas formarão suas expectativas conforme o comprimento de memória. É importante salientar que: i) cada tipo de agente terá uma formação de expectativa distinta ($E(p_{t+1})$); ii) a formação de expectativa final do agente grafista corresponderá a 25% de cada tipo (x , y e z).

A aversão à perda atuará da seguinte maneira:

$$\text{se } p_t > E(p_{t+1}) \rightarrow E(p_{t+1}) = E(p_{t+1}) \quad (20)$$

$$\text{se } p_t \leq E(p_{t+1}) \rightarrow E(p_{t+1}) = \omega \cdot E(p_{t+1}) \quad (21)$$

Portanto, se o preço efetivo [p_t] for maior que a expectativa de preço [$E(p_{t+1})$], os agentes entendem que os preços seguem uma tendência crescente; logo, não haverá uma perda no valor do ativo de risco, de modo que sua expectativa de preços futuros permanece conforme a equação 16. Entretanto, se o preço mais recente [p_t] for menor que a expectativa de preço [$E(p_{t+1})$], os grafistas corrigem suas expectativas pelo coeficiente de aversão à perda [ω].

5. Detalhamento da implementação do modelo e sequência de eventos

As simulações se desenvolverão da seguinte maneira:

- I. Num primeiro momento, serão inseridos na plataforma *Netlogo* todos os valores intrínsecos ao modelo⁷.
- II. Em seguida, o valor do dividendo (d_t) é gerado, tornando-se disponível para todos os agentes.

⁷ Para maior detalhamento dos valores, ver Tabela 1.

- III. Determinados os dividendos, e tendo acesso ao preço inicial (p_0), os agentes fundamentalistas geram sua expectativa de preço (p_{t+1}) e dividendo futuro (d_{t+1}).
- IV. Definida as expectativas fundamentalistas quanto aos preços e dividendos futuros da ação, a demanda por ação (qd_t) no período t é definida.
- V. Apurada a quantidade demandada, os agentes tomam decisão de compra (c_{it}) e de venda (v_{it}) das ações.
- VI. Em sequência, as ordens de compra e de venda são validadas e somadas no mercado de acordo com as equações (11) e (12).
- VII. Deste modo, o preço corrente (p_t) é determinado em função do excesso de demanda da ação no mercado acionário.
- VIII. Após $t > 10$, $t > 20$ e $t > 30$, as expectativas dos agentes *grafistas* com memória $m = 10$, $m = 20$ e $m = 30$, respectivamente, passam a ser determinadas e esses passam a interagir no mercado, usando as equações (8), (9) e (10).
- IX. Deliberado o preço corrente, esses são somados em cada período de tempo t , formando uma lista com histórico de preços que posteriormente será acessada pelos agentes grafistas. Ademais, o portfólio dos agentes é formado e atualizado a cada período de tempo t . O recurso financeiro disponível ($W_{i,t}$) para novas operações também é ajustado.
- X. As demais variáveis como taxa global de retorno dos ativos (φ) e variância percebida dos retornos ($\sigma^2_{i,t,p+d}$) são geradas e armazenadas no mercado, e podem ser acessadas por todos os agentes.

Em relação à programação, é importante salientar algumas restrições do modelo comuns em outros mercados artificiais e que fazem com que o modelo possa ser replicado com mais realismo, tais quais: i) os agentes podem demandar no máximo 10 ações em cada período de tempo; ii) as operações de compra são restritas pela quantidade de recurso financeiro disponível. Assim, seja w_{it-1} a quantidade de recurso financeiro aplicada no ativo livre de risco no período imediatamente anterior, $W_{i,t} = qd_{i,t-1} \cdot p_{t-1} / w_{it-1}$ a quantidade de recurso financeiro disponível para novas compras no período corrente e $c_{it} = qd_{i,t} - qd_{i,t-1}$ uma ordem de compra de ação. Se $c_{it}p_{i,t-1} > W_{it}$, ou seja, se a ordem de compra for maior que a quantidade de recurso financeiro disponível, então

$c_{it} = W_{it}/p_{i,t-1}$ será a quantidade máxima de ação que o agente i pode comprar no período t ; iii) é possível a compra a descoberto, com limite máximo de 10 ações.

Ademais, é importante destacar que os agentes grafistas, por terem um comportamento distinto dos agentes fundamentalistas no tocante à formação de suas expectativas quanto aos preços futuros, necessitam de uma série histórica dos preços. Por isso, é necessário que tenha se passado no mínimo um período de $t > 10$ para que eles formem suas expectativas, e, assim, possam operar no mercado acionário. O *Netlogo* nos permite duas soluções: i) criar um histórico de preços passados, ou seja, criar uma memória pré-programada, ou; ii) nos primeiros 10 períodos o mercado seria composto por 100% de agentes fundamentalistas e 0% de agentes grafistas que somente iniciariam operação após um período de $t > 10$. Em nosso modelo, usamos a segunda opção.

Abaixo, apresentamos a tabela com os valores iniciais dos parâmetros globais. Os valores aqui tratados têm por base configurações adotadas em outros mercados financeiros artificiais⁸. Esses valores, por serem globais, são acessíveis a todos os agentes, respeitando cada segmentação (fundamentalista ou grafista) e são mantidos durante todos os experimentos.

Tabela 1 – Valores iniciais dos parâmetros globais.

Parâmetro	Valor
<i>Número de agentes</i>	100
d_t	4
d_{t-1}	4
p_{t-1}	30
$qd_{i,t-1}$	1
$W_{i,t-1}$	100
g	0.015
r	0.10
β	2.000
λ	0.5
ρ	0.95
α	0.52
$var \varepsilon_t$	0.0742
média ε_t	0
$E_{i,t-1}(p_{t+1} + d_{t+1})$	22
$\sigma_{i,t,p+d}^2$	2
ω para $m = 10$	2.00
ω para $m = 20$	1.50
ω para $m = 30$	1.00

Fonte: Elaboração própria

⁸ Desses modelos, destacam-se *Santa Fe Artificial Stock Market* (1989), Arthur *et al.* (1997), LeBaron (2002), Farmer e Joshi (2002), Lovric (2011), Pires (2012) e Bertella *et al.* (2014).

6. Resultados e desdobramentos

Neste tópico, apresentaremos os resultados das simulações computacionais: gráficos e quadros com as estatísticas descritivas. Buscaremos analisar, neste trabalho, os efeitos de uma heterogeneização do mercado financeiro e o impacto causado pela presença do viés comportamental “aversão à perda” em termos de volatilidade, variância, assimetria e excesso de curtose tanto no tocante aos preços e dividendos como em relação aos retornos dos ativos.

Assim, as simulações serão apresentadas da seguinte maneira:

- i) Na primeira simulação (Cenário I), o mercado será composto por 100% de agentes fundamentalistas. Essa simulação será usada como base – visto que é formada por agentes homogêneos, cujo objetivo é a maximização de sua utilidade (recurso financeiro aplicado em ativos) e que se comportam segundo a premissa econômica neoclássica de racionalidade.
- ii) No segundo experimento (Cenário II), haverá 75% de agentes grafistas também com diferentes níveis de aversão à perda e comprimento de memória;
- iii) E, por último, (Cenário III), a simulação será rodada com 75% de agentes grafistas *sem aversão à perda*. Esse experimento tem o objetivo de corroborar com outros trabalhos que mostram que ao incluir diferentes tipos de agentes, ou seja, tornar o mercado acionário heterogêneo, independente do viés comportamental aversão à perda, o mercado como um todo sofre algum tipo de desequilíbrio, seja ele nos preços, dividendos ou taxa de retorno, além, é claro, de permitir uma comparação entre os Cenários I e II.

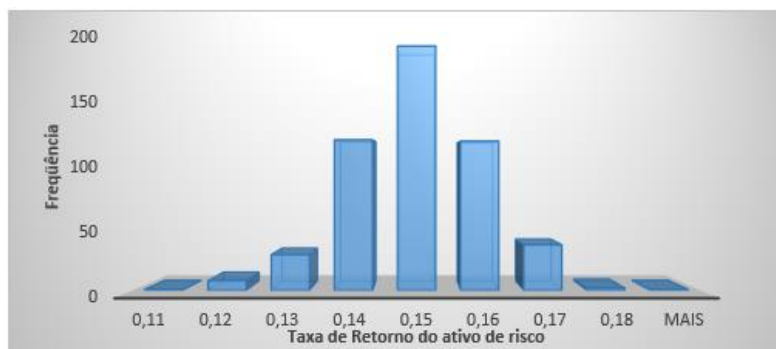
Cenário I – Mercado acionário composto por 100% dos agentes fundamentalistas

O resultado desse primeiro experimento será considerado como referência para os demais experimentos.

Tabela 2 – Agentes 100% Fundamentalistas

	Preço	Taxa de Retorno	Dividendo
Média	26,44640385	0,149942197	3,956519231
Erro padrão	0,008629732	0,000483694	0,011038891
Mediana	26,45	0,15	3,93
Modo	26,5	0,15	3,79
Desvio padrão	0,196788156	0,011019311	0,251725451
Variância da amostra	0,038725578	0,000121425	0,063365703
Excesso de Curtose	1,33010037	0,451443485	-0,442193138
Assimetria	-0,51524421	-0,127592028	0,254454673
Intervalo	1,54	0,08	1,34
Mínimo	25,36	0,11	3,35
Máximo	26,9	0,19	4,69
Soma	13752,13	77,82	2057,39
Contagem	520	519	520
Nível de confiança(95,0%)	0,016953499	0,000950243	0,021686402

Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*

Gráfico 1 – Histograma da taxa de retorno do ativo de risco

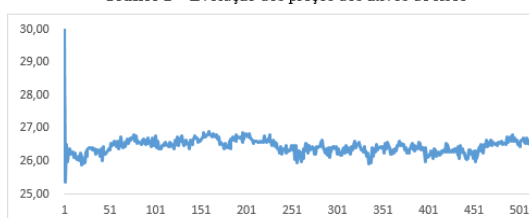
Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Conforme podemos observar na Tabela 2, a estatística mostra valores comportados tanto para a variável preço quanto para as variáveis taxa de retorno e dividendos. Com relação ao preço, podemos observar que os coeficientes de tendência central – média, moda e mediana – apresentam valores muito próximos, assim como são baixos os valores dos coeficientes de dispersão e variabilidade – excesso de curtose, assimetria, desvio padrão, variância e valores máximos e mínimos. Os intervalos – entre preço mínimo e preço máximo; dividendo mínimo e máximo e taxa de retorno mínima e máxima – também são baixos, mostrando baixa volatilidade do mercado. Desse modo, podemos observar que no longo prazo esse mercado não apresenta oscilações severas, onde possamos identificar algum desequilíbrio austero no mercado de ações simulado.

Ademais, no gráfico 1, conseguimos identificar características semelhantes à de uma distribuição normal, corroborando com os valores dos coeficientes de tendência central e assimetria, apresentados na Tabela 3. Além disso, o coeficiente de excesso de curtose, que é próximo de zero, caracteriza um “achatamento” das extremidades da distribuição de frequência similar à de uma distribuição normal.

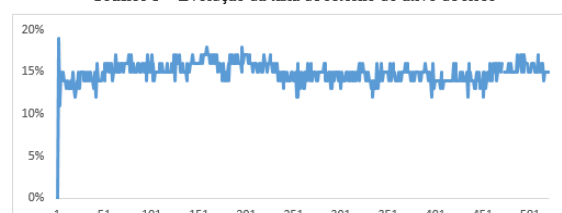
Abaixo, apresentaremos alguns gráficos das variáveis preço, taxa de retorno e dividendo.

Gráfico 2 – Evolução dos preços dos ativos de risco



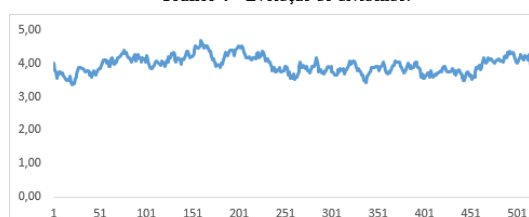
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *NetLogo*.
Nota: a oscilação brusca apresentada no período $t=1$ ocorre devido ao ajustamento do modelo, que o preço inicial programado foi \$ 30,00.

Gráfico 3 – Evolução da taxa de retorno do ativo de risco



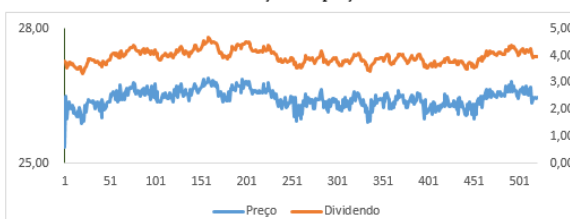
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *NetLogo*.
Nota: a oscilação brusca apresentada no período $t=1$ ocorre devido ao ajustamento do modelo, que se inicial com uma taxa de retorno = 0%.

Gráfico 4 – Evolução do dividendo.



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *NetLogo*.

Gráfico 5 – Evolução dos preços e dividendo



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *NetLogo*.

Os gráficos acima apresentados corroboram os dados apresentados pela estatística descritiva – Tabela 2. Ademais, no gráfico 5 conseguimos observar que tanto a evolução dos preços quanto a evolução dos dividendos estão diretamente ligados. Isso acontece porque os agentes desse primeiro experimento são homogêneos, logo, tomam decisões de maneira análoga, tendo em vista as mesmas informações e os mesmos objetivos. Como o dividendo pago pelo ativo de risco é o principal fator gerador do valor fundamental, tem-se o comportamento do mercado financeiro atrelado a essa variável.

Se considerarmos a HME, os preços dos ativos refletem toda e qualquer informação disponível no mercado ligada ao valor fundamental. Tendo em vista o resultado aqui apresentado, a validação da HME se dá pelo fato de os agentes formarem suas expectativas tendo como referência o valor fundamental do ativo

de risco (dividendos) e pelo seu repasse ao preço corrente negociado, além da homogeneidade dos agentes que operam nesse mercado acionário.

A partir desse experimento, que será usado como “cenário referência”, a homogeneidade dos agentes será relaxada e passaremos a considerar agentes com formação de expectativa distinta da tratada nesse primeiro experimento.

Cenário II – Mercado acionário composto por 25% dos agentes fundamentalistas e 75% de agentes grafistas com aversão à perda

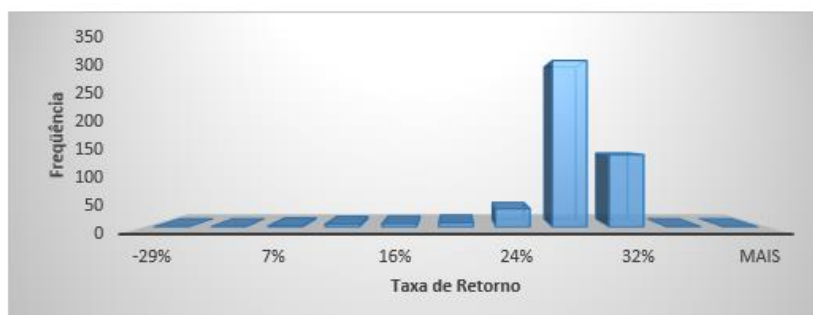
Nesse segundo experimento, o mercado acionário é composto, também, por agentes grafistas. Abaixo, apresentamos os resultados da estatística descritiva.

Tabela 3 – 25% de agentes fundamentalistas e 75% de agentes grafistas com aversão à perda

	Preço	Taxa de Retorno	Dividendo
Média	14,80732692	0,256416185	3,795384615
Erro padrão	0,019377502	0,002056816	0,025907275
Mediana	14,87	0,26	3,93
Modo	14,93	0,27	3,94
Desvio padrão	0,441875021	0,046857504	0,590776771
Variância da amostra	0,195253535	0,002195626	0,349017193
Excesso de Curtose	16,57297054	45,99565095	13,47131616
Assimetria	-2,729533244	-3,908622964	-3,426330843
Intervalo	6,08	0,89	4,14
Mínimo	11,29	-0,29	0,32
Máximo	17,37	0,6	4,46
Soma	7699,81	133,08	1973,6
Contagem	520	519	520
Nível de confiança(95,0%)	0,03806798	0,004040727	0,050896017

Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Gráfico 6 – Histograma da taxa de retorno

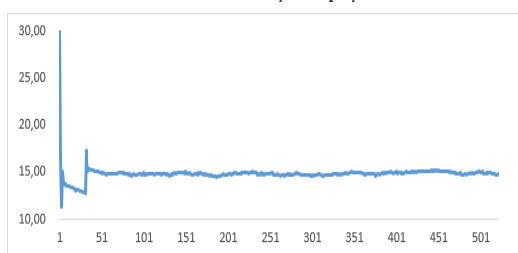


Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

De acordo com a Tabela 3, a estatística descritiva mostra valores bem distantes dos apresentados no cenário I. Com relação ao preço, a média se encontra bem distante do preço inicialmente programado e da média dos preços do primeiro experimento. O intervalo entre os preços máximos e mínimos é maior que a do primeiro experimento, assim como também são maiores os coeficientes de dispersão e variabilidade. A respeito da taxa de retorno, podemos observar que sua média tem crescimento de 11 pontos percentuais em comparação com o cenário I.

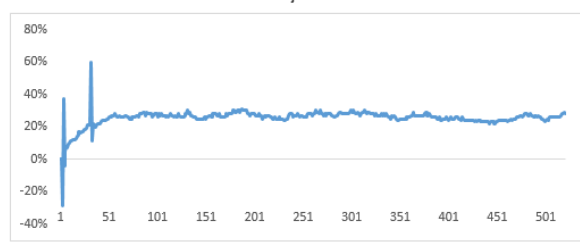
Outro exercício importante é compararmos os valores dos coeficientes dos cenários I e II. Podemos observar que, ao incluirmos agentes com diferentes formações de expectativas e aversão à perda, os preços passam a apresentar maior flutuação. O mesmo não conseguimos observar nos dividendos que, apesar de sofrer uma breve queda, não acompanham o movimento dos preços. Assim, temos um descolamento entre preço de mercado e valor fundamental. Ademais, se compararmos esse último resultado com os dados do cenário I, conseguimos identificar que a taxa de retorno mantém uma trajetória oscilatória, porém amortecida – haja visto o intervalo entre taxas máximas e mínimas. Esse efeito se explica, em parte, porque a taxa de retorno não acompanha somente os dividendos, mas também os preços de mercado; logo, se os preços passarem a oscilar menos, a taxa de retorno acompanhará esse movimento. Abaixo, apresentamos alguns gráficos.

Gráfico 7 – Evolução dos preços



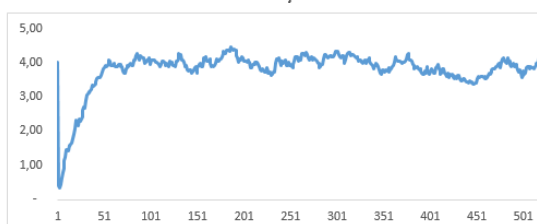
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Gráfico 8 – Evolução da taxa de retorno



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Gráfico 9 – Evolução dos dividendos



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Gráfico 10 – Evolução dos preços e dos dividendos



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Com relação à evolução dos preços, uma constatação importante, vista no gráfico⁷, é o amortecimento de sua flutuação e a queda dos preços. Esse fato pode ser explicado pela presença de diferentes tipos de agentes com distintos níveis de aversão à perda, comprimento de memória e formação de expectativa. Assim, esse experimento oferece indícios que apontam para a conclusão de que, ao incluirmos uma quantidade maior de agentes grafistas, estes passam a formar suas expectativas de preços futuros de maneira distinta, gerando maior impacto nos preços desse mercado.

Deste modo, uma afirmação da HME que não se faz válida nesse experimento é o processo de arbitragem que, segundo a hipótese, seria um mecanismo que, no longo prazo, levaria preço e valor fundamental se equalizarem. Interessante observar que o preço permanece abaixo do preço fundamental, o que poderia gerar elevação do preço da ação, dado o interesse de compra por parte dos fundamentalistas quando o preço está abaixo do preço fundamental ou de seu valor intrínseco. Contudo, os investidores grafistas, que são a maioria dos investidores e possuem aversão à perda, apresentam pouco interesse em comprar a ação, pois seu preço não apresenta tendência de alta (lembre-se de que o grafista apenas compra a ação se seu preço se elevou no passado e sua expectativa é de que o preço continue subindo), tampouco possuem interesse em vender a ação, pois seu preço não tem tendência de queda. Assim, o preço da ação permanece relativamente inalterado num nível muito deprimido (seu preço médio é 14,81) e volume de negociação da ação muito baixo, se tanto.

Cenário III – Mercado acionário composto por 25% dos agentes fundamentalistas e 75% de agentes grafistas (sem aversão à perda)

Esse experimento tem o objetivo de testar alguns indícios encontrados com a análise dos resultados dos cenários I e II, sendo eles: i) comparativamente ao cenário I, onde o mercado foi composto por 100% de agentes fundamentalistas, a inclusão de diferentes tipos de agentes grafistas causa algum ruído nesse mercado em termos de assimetria, excesso de curtose e volatilidade?; ii) o pressuposto da HME de que os preços refletem toda e qualquer informação relacionada ao valor fundamental de um ativo de risco, permanece sendo válido se incluirmos nesse mercado agentes que operam tendo como ponto de referência os preços passados?; iii) no processo de tomada de decisão, a presença de agentes com viés

comportamental “aversão à perda” realmente causa algum impacto nos preços de mercado?

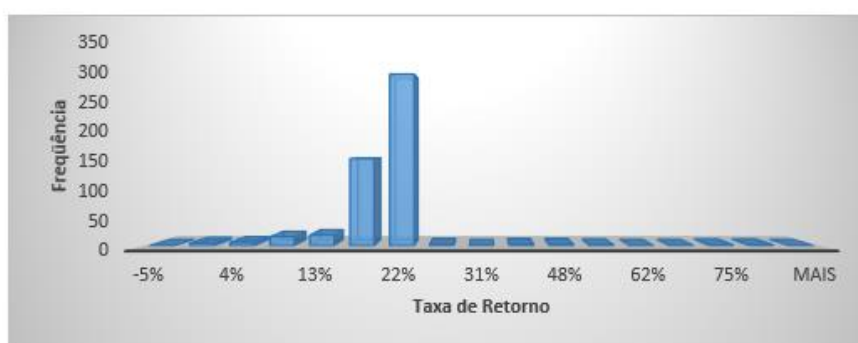
Para responder a tais questões, foi rodado um mercado composto de 25% de agentes fundamentalistas e 75% de agentes grafistas. Nesse experimento, os agentes grafistas não têm aversão à perda – formando suas expectativas exclusivamente de acordo com a equação (16).

Tabela 4 – 25% de Agentes Fundamentalistas e 75% de agentes grafistas

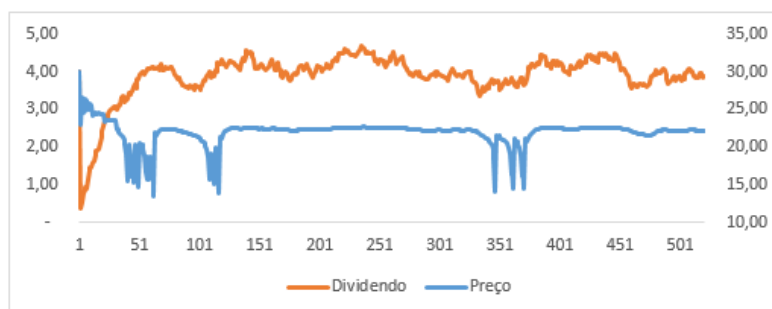
	Preço	Taxa de Retorno	Dividendos
Média	21,90036538	0,181657033	3,89425
Erro padrão	0,072192732	0,00376415	0,025970856
Mediana	22,31	0,18	4
Modo	22,48	0,18	4,12
Desvio padrão	1,646247576	0,085753248	0,592226633
Variância da amostra	2,71013108	0,00735362	0,350732384
Curtose	8,495734548	31,2998571	12,04824846
Assimetria	-2,440939877	4,515621933	-3,044717469
Intervalo	13,15	0,98	4,29
Mínimo	13,43	-0,05	0,39
Máximo	26,58	0,93	4,68
Soma	11388,19	94,28	2025,01
Contagem	520	519	520
Nível de confiança(95,0%)	0,141825894	0,007394876	0,051020924

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*

Gráfico 11 – Histograma da taxa de retorno



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

Gráfico 12 – Evolução dos preços e dos dividendos

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados obtidos da simulação computacional feita no *Netlogo*.

A análise dos resultados, apresentados na tabela 4, nos ajuda a responder os questionamentos feitos acima. Com relação à primeira questão, em termos de assimetria, excesso de curtose e volatilidade, tanto os preços quanto a taxa de retorno apresentam valores bem menos comportados do que os apresentados no cenário I, de modo a nos dar indícios de que a inclusão de diferentes tipos de agentes provoca maior flutuação nesse mercado, isto é, o mercado passa a oscilar de maneira mais persistente. Ademais, conseguimos observar que no longo prazo o preço corrente tende a se deslocar do seu valor fundamental, o que nos leva a concluir que a premissa da HME de que no longo prazo os agentes fundamentalistas conseguem eliminar possíveis ruídos (distorções de preços) nesse mercado não se faz válida.

Sobre a segunda questão, a utilização do preço passado como ponto de referência nos mostra que o valor fundamental deixa de ser o melhor parâmetro no processo decisório (escolha de investimento), visto que o preço está descolado do dividendo, conforme pode ser visto no gráfico 12.

Referente à terceira e última questão, tanto a tabela 4 quanto o gráfico 12 nos mostram uma queda na média dos preços, comparativamente ao cenário I – neste a média dos preços foi de 26,44, já, no cenário III, sua média foi de 21,90, ou seja, uma diferença de 4,54 pontos. Essa diferença oferece indícios de que o viés comportamental “aversão à perda” impacta os preços de mercado consideravelmente (a tabela 3 apresenta preço médio de 14,81 contra 21,90 sem aversão à perda), o que nos permite apontar fragilidade na premissa da HME que nos diz que no longo prazo o processo de arbitragem levaria os preços a se ajustarem ao seu valor fundamental.

Por fim, se compararmos o cenário III com outros trabalhos (Pires, 2012; Bertella *et al.*, 2014), veremos algumas diferenças nos resultados das simulações decorrentes de distintas especificações nos grafistas: no presente trabalho, as memórias são $m = 10$, $m = 20$ e $m = 30$ e as simulações foram rodadas com os três tipos de grafistas, enquanto que, nos artigos acima, os grafistas possuem memórias $m = 1$, $m = 5$ e $m = 10$ e as simulações foram realizadas considerando apenas grafistas com memória $m = 5$, sem mencionar o fato de que os grafistas no trabalho atual apenas levam em conta o preço passado para estimar o preço futuro, negligenciando o dividendo.

7. Considerações finais

A tomada de decisão é tema amplamente debatido por diversas áreas do conhecimento compreendendo desde as ciências exatas às ciências humanas. Essa temática torna-se tão instigante e discutida por buscar compreender o comportamento humano diante de uma situação de escolha.

No decorrer deste trabalho, buscamos estudar uma nova disciplina que em conjunto com outras áreas de estudo – como a psicologia – tem nos oferecido uma nova visão sobre o comportamento humano em tomadas de decisões mediante cenários de risco e incerteza, e como esse comportamento influencia o movimento do mercado financeiro.

Os trabalhos desenvolvidos por Kahneman e Tversky foram nossa grande inspiração teórica. Em seus muitos estudos publicados, de forma conjunta e individualmente, os autores nos oferecem uma nova ótica no entendimento sobre o processo de julgamento e tomada de decisão. Aceitando que os seres humanos são únicos, individuais e reagem a determinadas situações de maneira distinta, conforme o ambiente em que estão inseridos, os pesquisadores trazem à luz da discussão, sobre tomada de decisão, vieses de comportamento presentes nos indivíduos. Dentre os diversos vieses apresentados, a aversão à perda nos causou grande inquietação. Se todos os indivíduos preferem ganhar a perder e dão a essas duas situações pesos diferentes, no mercado acionário, qual seria o impacto desse pressuposto? Esse questionamento foi “nosso Norte” e nos fez perceber como seria instigante abrir debate acadêmico nessa temática.

Deste modo, partindo da leitura de economia comportamental (e concordando com ela), buscamos, através do desenvolvimento de um modelo

computacional, fazer alguns comentários e oferecer indícios que corroborassem os pressupostos comportamentais e que nos mostrassem que, em um ambiente de risco e incerteza, a subjetividade humana pode impactar, modificar e causar ruídos no mercado acionário como um todo.

Dentre os pontos levantados nesse artigo, consideramos que a análise dos cenários II e III oferece sinais de que a presença do viés aversão à perda tende a causar certo ruído no mercado, isto é, fez surgir movimentos distintos dos apresentados no cenário I. Assim, podemos dizer que nesses experimentos podem ser identificados alguns efeitos, sendo esses: i) há um afastamento entre os valores dos coeficientes de tendência central (média, moda e mediana) – ou seja, os cenários acima citados mostram que os valores dos parâmetros analisados (preço e taxa de retorno) apresentam maior flutuação; ii) os coeficientes de dispersão e variabilidade apresentam um distanciamento dos movimentos apresentados no cenário I – isto é, os parâmetros analisados (preço e taxa de retorno) nos cenários supracitados apresentam maior volatilidade; iii) há um afastamento dos preços de seu valor fundamental.

Com relação à premissa expressa na HME de que os preços, no longo prazo, refletem toda e qualquer informação relacionada ao valor fundamental, os resultados obtidos nos cenários II e III indicam que essa afirmação não se confirma, haja vista que os preços correntes se descolam do seu valor fundamental.

Outro apontamento interessante diz respeito à homogeneização do mercado acionário e à utilização de preços passados como ponto de referência na tomada de decisão. Diversos trabalhos assinalam que o pressuposto da HME, na qual os mercados são homogêneos e em sua maioria são compostos por agentes racionais que através de arbitragem conseguem eliminar, no longo prazo, possíveis ruídos causados por agentes não racionais (como, por exemplo, agentes que utilizam preços passados como balizador do movimento de mercado), não é válida. Desta forma, a fim de corroborar esses trabalhos, apresentamos no cenário III um mercado composto por diferentes tipos de agentes⁹ sem nenhuma aversão à perda¹⁰. Os resultados revelam que a presença de agentes heterogêneos causa

⁹ A diferenciação entre os agentes, nesse cenário, se dá pela presença de memória, isto é, cada agente utiliza distinta série histórica de preços.

¹⁰ A exclusão da aversão à perda no cenário III se fez necessária para que esse pudesse corroborar com os demais trabalhos que não incluíram em suas análises o viés de aversão à perda.

alguns ruídos, como: o afastamento do preço corrente de seu valor fundamental e uma flutuação mais acentuada dos preços de mercado.

Assim, sabendo das limitações teóricas e metodológicas que nos são impostas por uma simulação computacional (de um mercado acionário artificial), não temos, com esse trabalho, a pretensão de falsear nenhum pressuposto ou hipótese. Tivemos, isto sim, o intuito de oferecer alguns indícios e fazer alguns apontamentos que pudessem ser relevantes para o avanço dos estudos sobre tomada de decisão e seu impacto em mercados acionários.

Referências

ARTHUR, W. B.; HOLLAND, J. H.; LEBARON, B.; PALMER, R.; TAYLOR, P. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. In: ARTHUR, W. B.; DURLAUF, S.; LANE, D. *The economy as an evolving complex system II*. Reading: Addison-Wesley, 1997.

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, p. 1–9, 2014.

CHEN, S. H.; YEH, C. H. Evolving traders and the business school with genetic programming: A new architecture of the agent-based artificial stock market. *Journal of economic dynamic and control*, v. 25, n. 3–4, p. 363–393, 2001.

FAMA, E. Efficient capital market; a review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, v. 25, n. 2, p. 383–417, 1970.

FARMER, J. D.; JOSHI, S. The price dynamics of common trading strategies. *Journal of economic behavior and organization*, v. 49, n. 2, p. 149–171, 2002.

KAHNEMAN, D. *Thinking, fast and slow*. Nova York: Farrar, Straus and Giroux, 2011.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Subjective probability: a judgment of representativeness. *Cognitive Psychology*, v. 3, n. 3, p. 430–454, 1972.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. On the psychology of prediction. *Psychological Review*, v. 80, n. 4, p. 237–251, 1973.

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

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Choices, values and frames. *American Psychological Association*, v. 39, n. 4, p. 341–350, 1984.

LEBARON, B. *Calibrating an agent-based financial market*. Waltham: Brandeis University, 2002.

LEBARON, B. *Agent-based Computational Finance*. Waltham: International Business School, Brandeis University, 2005.

LEBARON, B.; ARTHUR, B. W.; PALMER, R. Time series properties of an artificial stock market. *Journal of Economic Dynamics & Control*, v. 23, n. 9–10, p. 1487–1516, 1999.

LOVRIC, M. *Behavioral finance and agent-based artificial markets*. PhD Dissertation. Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2011.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, v. 4, p. 151–162, 2010.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. *Journal of Finance*, v. 7, n. 1, p. 77–91, 1952.

PIRES, F. R. *Finanças comportamentais e modelos baseados em agentes*. Dissertação mestrado, Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2012.

RAKOW, T.; CHEUNG, N. Y.; RESTELLI, C. Losing my loss aversion: The effects of current and past environment on the relative sensitivity to losses and gains. *Psychonomic Bulletin & Review*, v. 27, p. 1333–1340, 2020.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. *Administração financeira*. São Paulo: Atlas, 2002.

SAVAGE, L. J. *The foundations of Statistics*. New York: Wiley, 1954.

SHARPE, W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, v. 19, n. 3, p. 425–442, 1964.

TAKAHASHI, H.; TERANO, T. Agent-based approach to investor’s behavior and asset price fluctuation in financial markets. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 6, n. 3, p. 1–3, 2003.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *American Psychological Association*, v. 185, n. 4157, p. 1124–1131, 1974.