



Momentum, Teoria Moderna de Carteiras e Algoritmos Genéticos na Otimização de Portfólios de Ações: Uma Revisão Teórica

Momentum, Modern Portfolio Theory and Genetic Algorithms in Stock Portfolio Optimization: A Theoretical Review

Tiago Jazynski

Mestre em Economia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Clóvis Airon de Quadros

Mestre em Direito Econômico e Social pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Resumo: Este estudo apresenta uma revisão teórica sobre três campos que se articulam na formação e otimização de carteiras de ações: a discussão entre a hipótese dos mercados eficientes e as finanças comportamentais, a moderna teoria de carteiras de Markowitz e os algoritmos genéticos como técnica alternativa de otimização, tendo como fio condutor a estratégia de momentum. O objetivo do trabalho é sistematizar os fundamentos teóricos e as principais evidências empíricas nacionais e internacionais que sustentam a combinação dessas abordagens na seleção e alocação de ativos. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa e de caráter exploratório-descritivo, desenvolvida a partir do levantamento e da análise crítica de livros, artigos e trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais sobre o tema. Os resultados da revisão indicam que a persistência do efeito momentum no curto prazo é incompatível com a forma fraca da hipótese dos mercados eficientes, encontrando maior respaldo explicativo nas finanças comportamentais, especialmente nos conceitos de underreaction e efeito disposição; que o modelo de Markowitz, apesar de sua relevância seminal, apresenta limitações operacionais relacionadas à estimação de parâmetros e à normalidade dos retornos; e que os algoritmos genéticos constituem uma alternativa computacional capaz de explorar de maneira mais flexível o espaço de soluções, sem se restringir a máximos ou mínimos locais. Conclui-se que a literatura nacional e internacional ainda não apresenta consenso quanto à superioridade de uma técnica de otimização em relação às demais, reforçando a relevância de estudos comparativos aplicados ao mercado brasileiro.

Palavras-chave: momentum; Markowitz; algoritmo genético; finanças comportamentais; otimização de carteiras.

Abstract: This study presents a theoretical review of three fields that are interconnected in the formation and optimization of stock portfolios: the debate between the efficient market hypothesis and behavioral finance, Markowitz's modern portfolio theory, and genetic algorithms as an alternative optimization technique, using the momentum strategy as the guiding theme. The objective of this study is to systematize the theoretical foundations and the main national and international empirical evidence supporting the combination of these approaches in asset selection and allocation. Methodologically, this is a bibliographic study of a qualitative and exploratory-descriptive nature, based on the review and critical analysis of national and international books, articles, and academic studies on the subject. The results of the review indicate that the persistence of the momentum effect in the short term is incompatible with

the weak form of the efficient market hypothesis and finds greater explanatory support in behavioral finance, particularly in the concepts of underreaction and the disposition effect; that the Markowitz model, despite its seminal relevance, presents operational limitations associated with parameter estimation and the assumption of normally distributed returns; and that genetic algorithms emerge as a computational alternative capable of exploring the solution space more flexibly, without being restricted to local maxima or minima. It is concluded that the national and international literature has not yet reached a consensus regarding the superiority of one optimization technique over the others, which reinforces the relevance of comparative studies applied to the Brazilian market.

Keywords: momentum; Markowitz; genetic algorithm; behavioral finance; portfolio optimization.

INTRODUÇÃO

A composição de carteiras de investimento constitui um dos problemas centrais da teoria financeira, estando diretamente relacionada ao equilíbrio entre a busca por retornos e a exposição aos riscos. A partir da publicação seminal de Markowitz (1952), a formação de portfólios passou a incorporar uma perspectiva mais ampla, deixando de se fundamentar exclusivamente na expectativa de retorno de cada ativo de forma isolada e passando a considerar também a interação entre os diferentes ativos, especialmente por meio da análise da covariância de seus retornos. Paralelamente, a Hipótese dos Mercados Eficientes (HME), formalizada por Fama (1970), estabelece que os preços dos ativos refletem, de maneira completa e imediata, as informações disponíveis no mercado. Sob essa perspectiva, estratégias de seleção de ações baseadas na identificação de padrões observados nos preços passados não seriam capazes de gerar resultados sistematicamente superiores, tornando sua utilização, em princípio, inócua.

Entretanto, a literatura de finanças comportamentais vem reunindo evidências de que podem ocorrer desvios sistemáticos e persistentes entre os preços de mercado e o valor fundamental dos ativos, especialmente em contextos caracterizados por limitações às operações de arbitragem e pela presença de vieses cognitivos entre os investidores. É nesse contexto de possível ineficiência de mercado que se insere a estratégia de *momentum*, popularizada por Jegadeesh e Titman (1993), segundo a qual ações que apresentaram desempenho positivo no período recente tendem a manter esse comportamento no curto prazo, enquanto aquelas que registraram desempenho negativo tendem a continuar apresentando retornos inferiores à média.

A identificação de ações vencedoras por meio da estratégia de *momentum*, contudo, não é suficiente para solucionar o problema relacionado à definição do montante a ser alocado em cada ativo selecionado. Essa questão é abordada pelos modelos de otimização de carteiras, entre os quais se destacam o modelo de média-variância de Markowitz (1952) e, mais recentemente, técnicas de inteligência computacional, como os algoritmos genéticos (AG). Esses algoritmos são inspirados no princípio darwiniano da seleção natural e têm sido amplamente utilizados como

ferramentas de otimização de funções complexas e não lineares (Holland, 1992; Goldberg, 1989; Mitchell, 1998).

Diante desse contexto, o problema de pesquisa que norteia este estudo pode ser formulado da seguinte maneira: como a estratégia de *momentum*, a moderna teoria de carteiras de Markowitz e os algoritmos genéticos se articulam, na literatura teórica e empírica, enquanto abordagens voltadas à seleção e à otimização de carteiras de ações? A justificativa para a realização deste estudo fundamenta-se na constatação de que, embora cada um desses três campos apresente uma tradição de pesquisa consolidada, ainda são poucos os trabalhos nacionais que abordam, de forma integrada, seus fundamentos teóricos e suas evidências empíricas. Essa lacuna dificulta uma análise comparativa entre as diferentes metodologias utilizadas na formação e otimização de carteiras de ações.

O objetivo geral deste estudo é sistematizar, por meio de revisão teórica, os fundamentos conceituais e as principais evidências empíricas nacionais e internacionais associados à hipótese dos mercados eficientes e às finanças comportamentais, à moderna teoria de carteiras de Markowitz, aos algoritmos genéticos aplicados à otimização de portfólios e à estratégia de *momentum*. Como objetivos específicos, busca-se: (i) discutir a compatibilidade entre a HME e a persistência do efeito *momentum*; (ii) apresentar os fundamentos matemáticos e as limitações práticas do modelo de Markowitz; (iii) descrever a lógica de funcionamento dos algoritmos genéticos e sua aplicação à otimização de carteiras; e (iv) revisar as evidências empíricas nacionais e internacionais sobre o desempenho comparado dessas abordagens.

Do ponto de vista metodológico, este estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa e natureza exploratória-descritiva, cujos procedimentos são apresentados de forma detalhada na seção 3. Além desta introdução, o estudo está estruturado em cinco seções. A seção 2 apresenta o referencial teórico, organizado em quatro subseções: hipótese dos mercados eficientes e finanças comportamentais; moderna teoria de carteiras; algoritmos genéticos; e estratégia de *momentum*. Na seção 3, são descritos os procedimentos metodológicos adotados para a realização da revisão. A seção 4 apresenta uma discussão integrada dos resultados da revisão, considerando as evidências empíricas identificadas na literatura nacional e internacional. Por fim, a seção 5 contempla as considerações finais, as limitações do estudo e as sugestões para pesquisas futuras.

REFERENCIAL TEÓRICO

Hipótese dos Mercados Eficientes e Finanças Comportamentais

Segundo Fama (1970), um mercado pode ser considerado eficiente quando os preços dos ativos incorporam integralmente o conjunto de informações disponível aos agentes econômicos. A partir dessa concepção, o autor estabelece três formas

de eficiência, definidas de acordo com a natureza das informações consideradas. Na forma fraca, a análise fundamenta-se exclusivamente nos preços históricos dos ativos; na forma semiforte, os preços incorporam todas as informações publicamente disponíveis; e, na forma forte, os preços refletem inclusive as informações de caráter privilegiado.

Para que a eficiência de mercado seja observada, Fama (1970) identifica três condições suficientes: a ausência de custos de transação, o acesso gratuito à informação por parte de todos os agentes e a existência de concordância entre os investidores quanto às implicações dessas informações para os preços atuais e futuros dos ativos.

Um dos corolários da HME é a inexistência de arbitragem persistente entre risco e retorno: estratégias que buscam retornos superiores necessariamente implicam maior exposição ao risco (Piccoli *et al.*, 2015). Se essa hipótese fosse integralmente válida, não haveria justificativa econômica para o investimento de tempo e recursos na busca de informações públicas com o objetivo de superar o mercado, e os investidores deveriam apenas manter portfólios diversificados por longos períodos.

A literatura em finanças comportamentais, no entanto, relativiza essa conclusão. Segundo Aldrich e Milanez (2005), a economia comportamental parte do pressuposto de que os agentes não tomam decisões seguindo estritamente os pressupostos da racionalidade ilimitada, combinando princípios econômicos, psicológicos e sociológicos para explicar desequilíbrios de mercado. Nesse arcabouço, limites à arbitragem e vieses cognitivos de investidores menos informados (noise traders) permitem que os preços se desviem, de forma persistente, do valor fundamental dos ativos — o que abre espaço para estratégias de seleção de ações baseadas em padrões de comportamento de preços, como o *momentum*.

Prates, Duarte Júnior e Santos (2019) destacam que a evidência empírica de que apenas uma pequena parcela dos investidores se comporta de acordo com os axiomas da teoria da utilidade esperada reforça a relevância dos estudos de orientação comportamental em finanças. Nessa linha, Aldrich e Milanez (2005) argumentam que a crescente adesão acadêmica às finanças comportamentais decorre justamente das limitações da teoria convencional para explicar fenômenos como a baixa diversificação efetiva dos portfólios, a administração ativa de fundos de ações e os desvios persistentes entre preços de mercado e fundamentos — evidências que, segundo os autores, colocam em xeque o pressuposto do *homo economicus* plenamente racional.

Moderna Teoria de Carteiras de Markowitz

Harry Markowitz é reconhecido como o precursor da moderna teoria de carteiras, a partir da publicação de seu trabalho *Portfolio Selection*, em 1952. Sua contribuição central foi demonstrar que a alocação de recursos não deveria se concentrar isoladamente nos ativos de maior retorno esperado, mas considerar combinações de ativos capazes de gerar a melhor relação entre retorno esperado e risco, medido pela variância dos retornos (Zanini; Figueiredo, 2005).

O modelo pressupõe que os investidores se preocupam apenas com a média e a variância dos retornos, preferem maior retorno a menor risco, buscam compor carteiras eficientes — de retorno máximo para determinado nível de risco, ou de risco mínimo para determinado nível de retorno — e conhecem as distribuições de probabilidade dos retornos dos ativos (Markowitz, 1952). O retorno esperado de uma carteira é dado pela média ponderada dos retornos esperados de cada ativo pela sua respectiva participação no portfólio:

$$E(R_p) = \bar{R}_p = \sum X_j \cdot \bar{R}_j, \text{ com } \sum X_j = 1$$

Em que X_j representa a proporção do j -ésimo ativo na carteira e $\bar{R}_j$ o seu retorno esperado. Diferentemente da simples soma das variâncias individuais, a variância da carteira depende também da covariância entre os ativos que a compõem:

$$\sigma^2_p = \sum (X_j^2 \cdot \sigma^2_j) + \sum \sum (X_j \cdot X_k \cdot \sigma_{jk}), j \neq k$$

Em que σ^2_j é a variância de cada ativo e σ_{jk} é a covariância entre os pares de ativos j e k . É desse componente de covariância que decorre o conceito de diversificação: quanto menor (ou mais negativa) a correlação entre os ativos, maior a redução de risco alcançável pela combinação entre eles, ainda que essa redução seja limitada — a partir de determinado ponto, a inclusão de novos ativos deixa de reduzir o risco total, restando apenas o chamado risco sistemático (Zanini; Figueiredo, 2005).

O problema de otimização de Markowitz (1952) consiste em minimizar a variância da carteira sujeita à restrição de que o retorno esperado seja igual a um valor fixo R_0 , de que a soma das proporções investidas seja igual a 1 e, no caso de venda a vendas a descoberto, de que nenhuma proporção seja negativa. A solução recursiva desse problema para diferentes valores de R_0 permite construir a chamada fronteira eficiente, que representa o conjunto de carteiras que oferecem o menor risco para cada nível de retorno esperado — ou, de forma equivalente, o maior retorno para cada nível de risco.

Alternativamente à carteira de mínima variância, é possível estimar a carteira que maximiza a razão de Sharpe (Rubesam; Beltrame, 2015), definida por:

$$RS = (\mu_p - r_f) / \sigma_p$$

Em que μ_p é o retorno médio da carteira, r_f é o retorno do ativo livre de risco e σ_p é o desvio-padrão da carteira. A carteira de máximo Sharpe é aquela que apresenta a melhor relação risco-retorno entre todas as combinações possíveis de ativos.

Apesar de sua relevância seminal, o modelo de Markowitz apresenta limitações práticas amplamente discutidas na literatura. Duarte (2005, p. 114) observa que:

O uso do MMV não era apropriado em alguns casos práticos, em particular quando os ativos que compunham a carteira tinham retornos assimétricos (como no caso de opções, títulos de renda fixa com opções embutidas etc.). Ou seja, era necessário o uso de medidas assimétricas de risco para os casos em que o MMV não era recomendado.

Além da hipótese de normalidade dos retornos, o modelo exige um volume expressivo de estimativas de variâncias e covariâncias, cujo número cresce rapidamente com o número de ativos, o que motivou o desenvolvimento, por Sharpe (1963), do modelo de índice único como alternativa simplificada (Zanini; Figueiredo, 2005). Mota (2013) acrescenta que a dependência do modelo em relação a séries históricas de retorno — que oferecem, na melhor das hipóteses, uma estimativa aproximada do comportamento futuro dos ativos — constitui outro desafio relevante à sua aplicabilidade prática.

Algoritmos Genéticos Aplicados à Otimização de Carteiras

Os algoritmos genéticos (AG) foram desenvolvidos originalmente por John Holland (1992) e colaboradores da Universidade de Michigan, com o duplo objetivo de explicar rigorosamente os processos adaptativos de sistemas naturais e projetar sistemas artificiais capazes de reter os mecanismos relevantes desses processos (Goldberg, 1989). Trata-se de algoritmos de busca inspirados no princípio darwiniano de seleção natural, nos quais uma população inicial de soluções candidatas, representadas por cromossomos, evolui, ao longo de gerações sucessivas, por meio de operadores de seleção, cruzamento (crossover) e mutação, em direção a soluções cada vez mais aptas (MITCHELL, 1998).

Na aplicação dos AG à otimização de carteiras, cada indivíduo da população representa uma solução candidata para o vetor de pesos da carteira, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, em que w_j é a proporção alocada ao j -ésimo ativo. Na codificação binária clássica, cada gene do cromossomo corresponde a um bit, e o cromossomo completo é decodificado em um valor numérico; na codificação real, mais utilizada em problemas de alocação de carteira, cada gene armazena diretamente o valor de w_j , normalizado de modo a satisfazer a restrição orçamentária:

$$\sum w_j = 1, \quad 0 \leq w_j \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n)$$

A avaliação de cada indivíduo é feita por uma função de aptidão (fitness), que reproduz o objetivo do problema de otimização de carteiras. Quando o objetivo é reproduzir o modelo de média-variância de Markowitz na forma de maximização da razão de Sharpe, a função de aptidão pode ser definida como:

$$f(w) = RS(w) = [w'\mu - rf] / \sqrt{(w'\Sigma w)}$$

Em que μ é o vetor de retornos esperados dos ativos, Σ é a matriz de variâncias e covariâncias e rf é o retorno do ativo livre de risco. Alternativamente, quando o objetivo é reproduzir a carteira de mínima variância, a função de aptidão pode ser definida como o inverso do risco da carteira, de modo que indivíduos menos arriscados recebam maior aptidão:

$$f(w) = 1 / \sigma^2 p(w) = 1 / (w'\Sigma w)$$

A probabilidade de um cromossomo i ser selecionado para reprodução é proporcional à sua aptidão relativa em relação à soma das aptidões de toda a população, no método da roleta (roulette wheel selection):

$$p_i = f(x_i) / \sum_k f(x_k), \quad k = 1, \dots, N$$

Em que N é o tamanho da população. Quanto maior a aptidão de um cromossomo, maior a sua probabilidade de ser selecionado como pai da geração seguinte, o que reproduz o princípio darwiniano de sobrevivência do mais apto (Goldberg, 1989).

Definida a seleção, o operador de crossover recombina o material genético de dois cromossomos-pais para gerar descendentes. No crossover de ponto único, escolhe-se aleatoriamente uma posição de corte k e trocam-se os segmentos posteriores a essa posição entre os dois pais. Para dois cromossomos-pais $P1 = (p_1, \dots, p_n)$ e $P2 = (q_1, \dots, q_n)$, os descendentes resultam em:

$$F1 = (p_1, \dots, p_k, q_{k+1}, \dots, q_n) \text{ e } F2 = (q_1, \dots, q_k, p_{k+1}, \dots, p_n)$$

Em problemas de otimização de carteiras com codificação real, é comum substituir o crossover de ponto único por uma recombinação aritmética, na qual cada gene do descendente é uma combinação linear dos genes correspondentes dos dois pais, ponderada por um coeficiente aleatório $\alpha \in [0, 1]$:

$$w_j(\text{filho}) = \alpha \cdot w_j(\text{pai 1}) + (1 - \alpha) \cdot w_j(\text{pai 2})$$

Esse operador tem a vantagem de preservar automaticamente a restrição orçamentária $\sum w_j = 1$, sem exigir normalização posterior, uma vez que a combinação convexa de dois vetores que somam 1 também soma 1.

O operador de mutação introduz alterações aleatórias em um ou mais genes do cromossomo, com uma probabilidade de mutação p_m geralmente pequena (por exemplo, entre 0,001 e 0,05), a fim de preservar a diversidade genética da população e evitar a convergência prematura para ótimos locais (Mitchell, 1998). Na codificação binária, a mutação inverte o valor do bit sorteado; na codificação real, costuma ser implementada pela adição de uma perturbação aleatória δ , seguida de renormalização dos pesos:

$$w_j \rightarrow w_j + \delta, \delta \sim U(-\epsilon, \epsilon), \text{ sujeito a } \sum w_j = 1 \text{ e } w_j \geq 0$$

O processo evolutivo completo pode ser sintetizado nas seguintes etapas iterativas: (i) geração de uma população inicial de N cromossomos, com pesos aleatórios que satisfaçam a restrição orçamentária; (ii) avaliação da aptidão $f(w)$ de cada indivíduo, conforme o critério de otimização adotado — Sharpe, variância mínima ou outro; (iii) seleção dos pais pelo método da roleta ou por torneio; (iv) aplicação dos operadores de crossover e mutação para gerar a nova geração; (v) substituição total ou parcial da geração anterior pela nova geração; e (vi) repetição das etapas (ii) a (v) até que um critério de parada seja atingido — número máximo de gerações, estabilização da aptidão média da população ou ausência de melhora no melhor indivíduo por um número pré-definido de gerações consecutivas (Goldberg, 1989; Dias, 2008).

Segundo Goldberg (1989), os AG combinam a sobrevivência do mais apto entre estruturas do tipo string com uma troca estruturada, ainda que aleatória, de informações entre indivíduos, de modo que cada nova geração é construída a partir dos elementos mais bem adaptados da geração anterior. Embora envolvam componentes estocásticos, os AG não configuram uma busca aleatória simples,

pois exploram de forma eficiente informações históricas da própria população para investigar novas regiões promissoras do espaço de busca.

A principal vantagem dos AG em relação aos métodos tradicionais de otimização baseados em cálculo diferencial é a sua flexibilidade diante de funções complexas, não lineares e com múltiplos pontos de máximo ou mínimo locais: por não dependerem de pressupostos restritivos sobre a continuidade da função ou a existência de derivadas, os AG conseguem explorar todo o espaço de soluções em busca do ótimo global (Goldberg, 1989; Tayler, 1995). Essa característica é particularmente relevante no problema de otimização de carteiras, em que a superfície risco-retorno definida por $w^T \Sigma w$ pode apresentar múltiplos ótimos locais à medida que aumentam o número de ativos e as restrições consideradas — por exemplo, restrições de cardinalidade (número máximo de ativos na carteira), limites mínimos e máximos de participação por ativo ou vedação a posições vendidas, restrições que tornam o problema de programação quadrática de Markowitz mais difícil de resolver por métodos analíticos tradicionais (Dias, 2008).

No campo da economia e das finanças, os AG têm sido empregados tanto na descrição do comportamento de agentes heterogêneos em modelos de equilíbrio quanto na resolução de problemas de otimização de portfólio propriamente ditos (Das Neves Barreiro, 2002). Kaufman (2013) situa o AG como uma alternativa direta à solução clássica de média-variância de Markowitz para a determinação da carteira ótima, ao passo que Sarmas (2020) descreve a computação evolucionária como um subcampo da inteligência artificial dedicado à otimização global por meio de algoritmos de tentativa e erro baseados em populações iniciais aleatórias que incorporam mecanismos de otimização estocástica ou metaheurística.

Uma extensão relevante da família dos algoritmos evolutivos aplicados à otimização de carteiras é a evolução diferencial (ED), proposta por Kenneth Price em 1994 como ferramenta de otimização numérica contínua (Eltaeib; Mahmood, 2018). Diferentemente do AG clássico, cuja mutação é aplicada de forma independente a cada gene, a ED gera um vetor mutante v_y a partir da combinação de três vetores da população, escolhidos aleatoriamente:

$$v_y = v_3 + F \cdot (v_1 - v_2)$$

Em que F é o fator de escala da mutação, parâmetro de controle predefinido. Em seguida, constrói-se um vetor de teste v_{trail} por meio de um cruzamento binomial entre o vetor mutante v_y e um vetor-alvo v_x , controlado por uma taxa de cruzamento Cr :

$$v_{\text{trail}}[i,j] = v_y[i,j] \text{ se } \text{rand}(0,1) < Cr; \quad v_x[i,j] \text{ caso contrário}$$

O vetor de teste substitui o vetor-alvo na geração seguinte apenas se apresentar aptidão igual ou superior à deste, caracterizando uma seleção do tipo “um-para-um” (Eltaeib; Mahmood, 2018). Assim como o AG, a ED não exige o cálculo de derivadas da função-objetivo, o que a torna igualmente adequada a problemas de otimização de carteiras com restrições não convexas ou descontínuas, ainda que sua aplicação ao mercado acionário brasileiro seja, até o momento, menos difundida do que a do algoritmo genético clássico.

Estratégia de *Momentum*

O estudo de referência sobre o efeito *momentum* é o de Jegadeesh e Titman (1993), que analisaram o mercado acionário norte-americano entre 1965 e 1989 e constataram a possibilidade de retornos anormais ao comprar ações vencedoras — aquelas com melhor desempenho nos últimos três a doze meses — e vender ações perdedoras. A estratégia consiste em classificar as ações, no início de cada mês, de acordo com o retorno observado nos J meses anteriores, formar carteiras a partir dos decis de maior e menor retorno e mantê-las por um período K, com J e K variando tipicamente entre três e doze meses.

Do ponto de vista comportamental, a persistência do efeito *momentum* costuma ser explicada por dois mecanismos não excludentes: o *underreaction*, segundo o qual novas informações são incorporadas de forma lenta aos preços — por conservadorismo, atenção limitada ou restrições de liquidez dos investidores —, e o *overreaction*, associado à capacidade limitada de processamento de informações, que pode levar os preços a se afastar temporariamente dos fundamentos antes de reverter no longo prazo. Prates, Duarte Júnior e Santos (2019) relacionam o *underreaction* ao efeito de disposição, viés pelo qual os investidores tendem a vender rapidamente ativos valorizados e a manter por tempo excessivo ativos desvalorizados, na tentativa de evitar a realização de perdas.

Carhart (1997) contribuiu para essa literatura ao demonstrar a persistência de curto prazo no desempenho de fundos mútuos de ações, sugerindo que investidores evitem fundos com desempenho persistentemente ruim, considerem que fundos com retornos elevados no ano anterior tendem a repetir esse desempenho apenas no ano seguinte — não nos subsequentes — e observem o impacto negativo de custos de transação e taxas sobre a rentabilidade líquida. Já Rouwenhorst (1998), ao analisar carteiras internacionalmente diversificadas entre 1980 e 1995, constatou a continuação de retornos de médio prazo em doze países, com duração média de um ano, reforçando a robustez internacional do fenômeno.

No mercado brasileiro, a literatura empírica é menos conclusiva. Piccoli, Souza, Vieira e Cruz (2015), ao investigar o período de 1997 a 2014, encontraram retornos estatisticamente significativos e alfas positivos para carteiras de *momentum* fora de períodos de crise financeira, sugerindo que as quebras associadas a crises — e não uma anomalia estrutural do mercado brasileiro — explicariam a menor robustez estatística do efeito *momentum* encontrada em estudos que abrangem períodos de instabilidade. Silva Neto, Silva, Raboni e Oliveira (2014), por sua vez, analisando o período de 1994 a 2011, identificaram persistência de retornos sobretudo entre ações de maior volume de negociação, associando o fenômeno a um possível prêmio por liquidez, enquanto Pitthan (2017) relacionou a presença do efeito *momentum*, antes e depois da crise de 2008, ao efeito disposição.

Do ponto de vista formal, os retornos das estratégias de *momentum* podem ser representados por um modelo de fator único, no qual o retorno de um ativo i no período t , rit , é decomposto em um retorno esperado incondicional, um componente sistemático associado a um fator comum ft e um componente idiossincrático eit ,

de média nula e não correlacionado entre ativos e ao longo do tempo. A existência de *momentum* implica que o retorno de um ativo no período t é positivamente correlacionado com seu retorno no período $t-1$, o que é incompatível com a hipótese de eficiência na forma fraca, segundo a qual os retornos passados não deveriam conter informação relevante para prever retornos futuros (Jegadeesh; Titman, 1993).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo caracteriza-se, quanto à natureza, como uma pesquisa básica de finalidade teórica; quanto à abordagem, como qualitativa; e quanto aos objetivos, como exploratória-descritiva, uma vez que busca sistematizar e relacionar criticamente conceitos e evidências já consolidados na literatura, sem a produção de dados primários (GIL, 2008). Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente por livros, artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, dissertações e teses (Gil, 2008).

O levantamento bibliográfico teve como eixos temáticos: (i) a hipótese dos mercados eficientes e as finanças comportamentais; (ii) a moderna teoria de carteiras de Markowitz e suas extensões; (iii) os algoritmos genéticos aplicados a problemas de otimização financeira; e (iv) a estratégia de *momentum* e suas evidências empíricas no mercado internacional e no mercado brasileiro. A seleção das obras privilegiou trabalhos seminais de cada área — como Fama (1970), Markowitz (1952), Holland (1992), Goldberg (1989) e Jegadeesh e Titman (1993) — combinados a estudos aplicados ao mercado brasileiro, de modo a permitir a articulação entre fundamentos teóricos internacionais e evidências empíricas nacionais.

O tratamento do material seguiu três etapas. Na primeira, procedeu-se ao fichamento dos trabalhos selecionados, identificando conceitos, hipóteses e principais resultados de cada estudo. Na segunda etapa, os conteúdos foram organizados por eixo temático, conforme apresentado na seção 2. Na terceira etapa, promoveu-se uma leitura cruzada entre os quatro eixos, buscando identificar convergências, divergências e complementaridades entre a discussão teórica sobre eficiência de mercado, os modelos de otimização de carteira (Markowitz e AG) e a evidência empírica sobre o efeito *momentum*, cujos resultados são discutidos na seção 4.

Como limitação metodológica, reconhece-se que a revisão não seguiu um protocolo sistemático de busca em bases indexadas com critérios formais de inclusão e exclusão (do tipo PRISMA), tratando-se de uma revisão de caráter narrativo-crítico orientada pela literatura previamente consolidada em um estudo de mestrado sobre o tema, o que é adequado aos objetivos exploratório-descritivos aqui propostos, mas não substitui, para fins de mapeamento exaustivo do estado da arte, uma revisão sistemática da literatura.

DISCUSSÃO

A leitura conjunta dos quatro eixos teóricos revisados permite três eixos de discussão. O primeiro diz respeito à compatibilidade entre a hipótese dos mercados eficientes e a persistência do efeito *momentum*. Se a HME, em sua forma fraca, fosse plenamente válida, os retornos passados não deveriam conter qualquer informação útil para prever retornos futuros (Fama, 1970). A evidência internacional acumulada desde Jegadeesh e Titman (1993) — e reforçada por Carhart (1997), Rouwenhorst (1998) e Jegadeesh e Titman (2001), entre outros — mostra retornos anormais e persistentes associados à estratégia de *momentum* em diferentes mercados e períodos, o que é mais compatível com a explicação oferecida pelas finanças comportamentais, sobretudo pelos mecanismos de *underreaction* e de efeito disposição (Prates; Duarte Júnior; Santos, 2019), do que pela hipótese de eficiência em sua formulação mais restritiva.

No mercado brasileiro, contudo, essa evidência é menos uniforme: enquanto Piccoli, Souza, Vieira e Cruz (2015) encontram significância estatística fora de períodos de crise, outros estudos nacionais relatam resultados positivos, porém sem significância estatística, quando a amostra inclui períodos de instabilidade financeira. Essa divergência sugere que a robustez do efeito *momentum* no Brasil está condicionada ao recorte temporal da amostra, o que reforça a necessidade de estudos que segreguem os efeitos de curto prazo do *momentum* dos efeitos de choques macroeconômicos e financeiros de maior magnitude.

O segundo eixo de discussão refere-se às técnicas de otimização de pesos disponíveis, uma vez que a seleção de ações vencedoras pela estratégia de *momentum* não resolve, por si só, o problema de quanto alocar em cada ativo. O modelo de Markowitz (1952) permanece como referência teórica dominante, mas sua aplicação prática é limitada pela sensibilidade a erros de estimação dos parâmetros de média e variância e pela hipótese de normalidade dos retornos (Oliveira; Maciel, 2020; Duarte, 2005). Os algoritmos genéticos surgem, nesse contexto, como alternativa capaz de explorar o espaço de soluções sem se restringir a máximos ou mínimos locais (Goldberg, 1989; Tayler, 1995), tendo se mostrado, em alguns estudos aplicados ao mercado brasileiro, competitivos ou mesmo superiores às técnicas de otimização tradicionais (Oliveira; Maciel, 2020; Cartacho; Souza, 2002).

O terceiro eixo de discussão diz respeito ao contraponto oferecido pela diversificação ingênua. De Miguel, Garlappi e Uppal (2009), ao testar catorze modelos distintos de alocação de carteira fora da amostra — incluindo o modelo original de Markowitz —, constataram que nenhum deles supera de forma consistente a estratégia ingênua de proporções iguais entre os ativos (1/N). Esse resultado relativiza a suposta superioridade dos modelos de otimização mais sofisticados, sejam eles baseados em média-variância, sejam baseados em algoritmos evolutivos, e sugere que a comparação entre técnicas de otimização deve necessariamente incluir a carteira ingênua como benchmark de referência, e não apenas o índice de mercado.

Em síntese, a revisão indica que os três campos analisados — eficiência de mercado e finanças comportamentais, otimização de carteiras via Markowitz e via algoritmos genéticos, e estratégia de *momentum* — não são excludentes, mas complementares: a literatura comportamental oferece a justificativa teórica para a existência do efeito *momentum* como anomalia explorável; os modelos de Markowitz e de AG oferecem técnicas concorrentes para a definição dos pesos da carteira construída a partir dessa anomalia; e a diversificação ingênua permanece como parâmetro de comparação relevante e, muitas vezes, competitivo diante de modelos mais sofisticados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo sistematizar, por meio de uma revisão teórica, os fundamentos conceituais e as principais evidências empíricas relacionadas à Hipótese dos Mercados Eficientes (HME), às finanças comportamentais, à Moderna Teoria de Carteiras de Markowitz, à aplicação de algoritmos genéticos na otimização de portfólios e à estratégia de *momentum*. Os objetivos específicos foram alcançados ao longo da discussão, contemplando a análise da incompatibilidade entre a persistência do efeito *momentum* e a forma fraca da HME, a apresentação dos fundamentos matemáticos e das limitações práticas do modelo de Markowitz, a descrição dos princípios e da lógica de funcionamento dos algoritmos genéticos e a revisão das evidências empíricas, nacionais e internacionais, acerca do desempenho comparativo dessas diferentes abordagens.

Nesse contexto, a utilização de técnicas computacionais de otimização ganha relevância diante das limitações impostas pelos métodos tradicionais de seleção de carteiras. Segundo Jazynski (2022), a utilização de algoritmos genéticos pode constituir uma alternativa às técnicas tradicionais de otimização de carteiras, sobretudo em situações nas quais o processo de seleção de ativos envolve múltiplas variáveis, restrições e diferentes combinações possíveis de alocação. Essa perspectiva reforça a importância de métodos capazes de explorar soluções alternativas e contribuir para o aprimoramento da composição de portfólios.

Como principal contribuição, este estudo apresenta uma abordagem integrada de três campos de investigação que, embora frequentemente analisados de maneira isolada na literatura nacional, possuem relação direta com o problema prático de seleção e otimização de carteiras de ações. De um lado, encontram-se os fundamentos comportamentais que ajudam a explicar a existência de anomalias potencialmente exploráveis, como o efeito *momentum*; de outro, estão as técnicas utilizadas para a determinação dos pesos dos ativos, incluindo o modelo de Markowitz e os algoritmos genéticos. Complementarmente, a diversificação ingênua é considerada como importante parâmetro de referência para a avaliação do desempenho das estratégias de composição de portfólio.

Essa sistematização contribui para ampliar a compreensão das relações entre comportamento dos investidores, eficiência dos mercados e técnicas de otimização

de carteiras, podendo servir de subsídio tanto para a formulação de novos estudos empíricos aplicados ao mercado brasileiro quanto para investidores e gestores interessados no desenvolvimento de estratégias sistemáticas de composição de portfólios.

Entre as principais limitações do estudo, destaca-se o caráter não sistemático da revisão bibliográfica realizada, uma vez que não foi adotado um protocolo formal de busca, seleção e avaliação dos estudos disponíveis em bases de dados indexadas. Essa característica limita a possibilidade de assegurar a exaustividade do levantamento e, conseqüentemente, restringe a generalização dos resultados da revisão.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de uma revisão sistemática da literatura, com critérios explícitos de inclusão e exclusão dos estudos, permitindo maior rigor metodológico e melhor delimitação das evidências existentes. Adicionalmente, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas empíricas voltadas ao mercado brasileiro, com o objetivo de comparar o desempenho de carteiras baseadas na estratégia de *momentum* e otimizadas por diferentes métodos, incluindo algoritmos genéticos, o modelo de Markowitz e a diversificação ingênua. Essas análises poderão considerar diferentes períodos de investimento, janelas temporais e condições macroeconômicas, possibilitando avaliar a estabilidade e a robustez dos resultados obtidos.

Dessa forma, estudos futuros poderão contribuir para verificar em que medida técnicas de otimização computacional, particularmente os algoritmos genéticos, apresentam vantagens em relação às abordagens tradicionais na construção de portfólios, bem como para aprofundar a compreensão da interação entre anomalias de mercado, comportamento dos investidores, eficiência informacional e estratégias de investimento no contexto do mercado acionário brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ALDRIGHI, Dante Mendes; MILANEZ, Daniela Youssef. Finanças comportamentais e a hipótese dos mercados eficientes. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 41-72, 2005.
- CARHART, Mark M. On persistence in mutual fund performance. **The Journal of Finance**, v. 52, n. 1, p. 57-82, 1997.
- CARTACHO, Marcelo Soares; SOUZA, Antônio Artur de. **A utilização de um modelo composto por algoritmos genéticos e redes neurais no processo de seleção de carteiras**. In: ENCONTRO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 2002, Salvador. Anais [...]. Salvador: ANPAD, 2002.
- DAS NEVES BARREIRO, André Filipe Costa. **Algoritmos genéticos: aplicação ao mercado de capitais em Portugal**. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

DE MIGUEL, Víctor; GARLAPPI, Lorenzo; UPPAL, Raman. Optimal versus naive diversification: how inefficient is the 1/N portfolio strategy? **The Review of Financial Studies**, v. 22, n. 5, p. 1915-1953, 2009.

DÍAS, Carlos Henrique. **Um novo algoritmo genético para a otimização de carteiras de investimento com restrições de cardinalidade**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DUARTE JÚNIOR, Antônio Marcos. **Gestão de riscos para fundos de investimento**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

ELTAEIB, Tarik; MAHMOOD, Ausif. **Differential evolution: a survey and analysis**. Applied Sciences, v. 8, n. 10, p. 1945, 2018.

FAMA, Eugene F. Efficient capital markets: a review of theory and empirical work. **The Journal of Finance**, v. 25, n. 2, p. 383-417, 1970.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDBERG, David E. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Reading: Addison-Wesley, 1989.

HOLLAND, John H. **Adaptation in natural and artificial systems**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1992.

JEGADEESH, Narasimhan; TITMAN, Sheridan. Returns to buying winners and selling losers: implications for stock market efficiency. **The Journal of Finance**, v. 48, n. 1, p. 65-91, 1993.

JEGADEESH, Narasimhan; TITMAN, Sheridan. Profitability of momentum strategies: an evaluation of alternative explanations. **The Journal of Finance**, v. 56, n. 2, p. 699-720, 2001.

KAUFMAN, Perry J. **Trading systems and methods**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.

MITCHELL, Melanie. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: MIT Press, 1998.

MOTA, Lucas da Silveira. **Otimização de carteiras de investimento através da aplicação de algoritmos genéticos multiobjetivo**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

OLIVEIRA, Guilherme Isaac Giorgete; MACIEL, Leandro dos Santos. **Algoritmos genéticos na otimização de carteiras de ações no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2020.

PICCOLI, Pedro Guilherme Ribeiro; SOUZA, Alceu; VIEIRA, Wesley Mendes; CRUZ, June Alisson Westarb. Revisitando as estratégias de momento: o mercado brasileiro é realmente uma exceção? **Revista de Administração**, v. 50, n. 2, p.

183-195, 2015.

PITTHAN, Francisco do Nascimento. **Como o efeito-disposição pode explicar momentum: a relação entre viés de comportamento de investimento e movimentos do mercado brasileiro**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PRATES, Wlademir Ribeiro; DUARTE JÚNIOR, Antônio Marcos; SANTOS, André A. P. Efeito disposição: propensão à venda de investidores individuais e institucionais. **Revista Brasileira de Economia**, v. 73, p. 97-119, 2019.

ROUWENHORST, K. Geert. International momentum strategies. **The Journal of Finance**, v. 53, n. 1, p. 267-284, 1998.

RUBESAM, Alexandre; BELTRAME, André. Carteiras de mínima variância no mercado acionário brasileiro. **Revista Brasileira de Finanças**, v. 13, n. 3, p. 484-506, 2015.

SARMAS, Elissaios. **Multicriteria portfolio construction with Python**. Cham: Springer, 2020.

SHARPE, William F. **A simplified model for portfolio analysis**. Management Science, v. 9, n. 2, p. 277-293, 1963.

SILVA NETO, Odilon Saturnino; SILVA, Valéria Louise de Araújo Maranhão Saturnino; RABONI, Pierre Lucena; OLIVEIRA, Marcos Roberto Gois de. Efeito momentum no curto prazo: vale a pena comprar ações vencedoras no Brasil? RAM. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 15, n. 4, p. 193-228, 2014.

TAYLER, Paul. Modeling artificial stock markets using genetic algorithms. In: GOONATILAKE, Suran; TREELEAVEN, Philip (ed.). **Intelligent systems for finance and business**. Chichester: John Wiley & Sons, 1995. p. 271-288.

ZANINI, Francisco Antônio Mesquita; FIGUEIREDO, Antônio Carlos. As teorias de carteira de Markowitz e de Sharpe: uma aplicação no mercado brasileiro de ações entre julho/95 e junho/2000. RAM. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 6, n. 2, p. 38-65, 2005.

JAZYNSKI, Tiago. **Seleção e otimização de carteiras de ações do mercado brasileiro: momentum, Markowitz e algoritmo genético**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado em Economia) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.