

S



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA**

ANDRÉ CARNEIRO DE ALBUQUERQUE SANTANA FILHO

**ANÁLISE DE INVESTIMENTO INCORPORANDO DADOS DE
SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE SOCIAL - EXAMINANDO O
COMPORTAMENTO DE ATIVOS BRASILEIROS ESG E NÃO-ESG ANTES,
DURANTE E APÓS A PANDEMIA**

RECIFE

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE INFORMÁTICA

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ANDRÉ CARNEIRO DE ALBUQUERQUE SANTANA FILHO

**ANÁLISE DE INVESTIMENTO INCORPORANDO DADOS DE
SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE SOCIAL - EXAMINANDO O
COMPORTAMENTO DE ATIVOS BRASILEIROS ESG E NÃO-ESG ANTES,
DURANTE E APÓS A PANDEMIA**

TCC apresentado ao Curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador(a): Adiel Teixeira de Almeida Filho

RECIFE

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santana Filho, André Carneiro de Albuquerque.

Análise de investimento incorporando dados de sustentabilidade e
responsabilidade social: examinando o comportamento de ativos brasileiros
ESG e não-ESG antes, durante e após a pandemia / André Carneiro de
Albuquerque Santana Filho. - Recife, 2023.

44 p. : il., tab.

Orientador(a): Adiel Teixeira de Almeida Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Informática, Sistemas de Informação - Bacharelado,
2023.

1. ESG. 2. Index Tracking. 3. Otimização de Portfólios. 4. Finanças. 5.
Algoritmos Genéticos. I. Almeida Filho, Adiel Teixeira de. (Orientação). II.
Título.

000 CDD (22.ed.)

ANDRÉ CARNEIRO DE ALBUQUERQUE SANTANA FILHO

**ANÁLISE DE INVESTIMENTO INCORPORANDO DADOS DE
SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE SOCIAL - EXAMINANDO O
COMPORTAMENTO DE ATIVOS BRASILEIROS ESG E NÃO-ESG ANTES,
DURANTE E APÓS A PANDEMIA**

TCC apresentado ao Curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: 25/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Adiel Teixeira de Almeida Filho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Nivan Ferreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedicatória

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial aos meus pais André e Nicélia, que durante estes anos da minha trajetória acadêmica estiveram ao meu lado, me incentivando a buscar sempre mais oportunidades.

Dedico também a todos os meus colegas do Centro de Informática que sempre estiveram dispostos a me dar apoio e me ajudar nesses anos de graduação, desde nossas reuniões antes de provas na sala do DA para estudar em conjunto nos primeiros períodos até toda a camaradagem que surgiu entre nós nesse tempo. Vocês são uma parte importantíssima de todo esse processo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu professor orientador, Adiel Teixeira de Almeida Filho, pelo acompanhamento no desenvolvimento do projeto desde sua concepção até sua escrita final, sempre fornecendo materiais, conhecimentos e disposto a ajudar, sempre tendo em mente o melhor para o projeto.

Também devo excepcionais agradecimentos a meus colegas do grupo de pesquisa, especialmente Miguel Angel Ortiz Acuña e Júlio Cezar Soares Silva, a quem devo boa parte dos conhecimentos adquiridos durante o desenvolvimento do projeto e com quem tive profundas, interessantes e efetivas discussões durante todo o processo. Este projeto não teria atingido tal nível se não fosse por vocês.

Por fim, venho agradecer a toda a comunidade acadêmica do Centro de Informática e, de modo mais geral, da Universidade Federal de Pernambuco, que me permitiram, em primeiro lugar, chegar ao ponto onde cheguei hoje.

"Direto e reto, sempre!" - Chorão

RESUMO

O estudo investiga a inclusão de critérios ESG (Ambiental, Social e Governança) na construção de portfólios de investimento no Brasil, focando no índice BOVESPA. Os resultados revelam que carteiras compostas exclusivamente por ativos ESG tendem a ter desempenho inferior ao índice BOVESPA, mas estratégias híbridas que alocam parte do portfólio em ativos ESG mostram variações significativas, destacando a importância da adaptação das estratégias às tendências de mercado e ao comportamento dos ativos ESG. O estudo enfatiza a necessidade de diversificação de investimentos, independentemente do interesse crescente nos ativos ESG no mercado brasileiro, para mitigar potenciais desafios associados à dependência exclusiva de uma classe de ativos.

Palavras-chave: ESG, Index Tracking, Otimização de Portfólios, Finanças, Algoritmos Genéticos

ABSTRACT

This study investigates the inclusion of sustainability factors, specifically ESG (Environmental, Social, and Governance) criteria, in the selection of investment portfolios in the Brazilian context, with a focus on the BOVESPA index. The study adopts index tracking techniques and considers variable weights of ESG assets over different years. It was found that portfolios composed exclusively of ESG assets tend to underperform the BOVESPA index, while non-ESG portfolios also exhibit similar trends. However, by adopting hybrid approaches that allocate a portion of the portfolio to ESG assets, the results vary significantly, highlighting the importance of adjusting investment strategies based on market trends and the behavior of ESG assets. The data shows that in certain years, portfolios with a substantial focus on ESG assets outperformed the BOVESPA index. The study underscores the need for investment diversification, regardless of the growing interest in ESG assets in the Brazilian market, as over-reliance on a single asset class, whether ESG or not, can result in challenges.

Keywords: ESG, Index Tracking, Portfolio Optimization, Finances, Genetic Algorithms

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Fluxograma da metodologia do primeiro experimento	28
Quadro 2 – Fluxograma da metodologia do segundo experimento	28
Quadro 3 – Resultados por portfólio analisado para o ano de 2019	
32	
Quadro 4 – Resultados por portfólio analisado para o ano de 2020	
33	
Quadro 5 – Resultados por portfólio analisado para o ano de 2021	
33	
Quadro 6 – Resultados por portfólio analisado para o ano de 2019	
35	
Quadro 7 – Resultados por portfólio analisado para o ano de 2020	
36	
Quadro 8 – Resultados por portfólio analisado para o ano de 2021	
36	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista, por ano, de ações consideradas ESG e não-ESG para a análise
26

Tabela 2 - Resultado das comparações de portfólio em 2019
34

Tabela 3 - Resultado das comparações de portfólio em 2020
34

Tabela 4 - Resultado das comparações de portfólio em 2021
34

LISTA DE ABREVIações

ESG	Environmental, Social and Governance
B3	Bolsa Brasil Balcão
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
ETF	Exchange Traded Fund; Fundo de Índice
IR	Information Ratio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Considerações Iniciais	13
1.2 Justificativa	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 <i>ESG</i>	17
3.2 <i>Index Tracking</i>	18
4 TRABALHOS RELACIONADOS	20
5 METODOLOGIA	21
5.1 <i>Coleta de Dados</i>	25
5.2 <i>Configuração de Modelos</i>	27
5.3 <i>Design de Experimentos</i>	28
6 CONCLUSÃO	32
6.1 <i>Comparação ESG e Não-ESG</i>	32
6.2 <i>Otimização de Portfólio com ESG</i>	34
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	38
ANEXO A – TÍTULO DESCRITIVO	40
APÊNDICE A – TÍTULO	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A análise de investimentos é um processo crucial da alocação de recursos e capitais, tanto para organizações, quanto para investidores individuais, pois envolve um delicado equilíbrio entre as possibilidades de retorno e os riscos encontrados (SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023). Os primeiros trabalhos na área introduziram teorias para a construção de portfólios de investimento visando o cálculo de média-variância dos ativos (MARKOWITZ, 1952), tendo desempenhado um importante papel na otimização de carteiras de investimentos.

Entretanto, ao utilizarmos os métodos tradicionais em dados históricos para a criação de portfólios de investimentos, tendemos a observar a construção de carteiras paradoxais e, por muitas vezes, incertas para os investidores (HAN; WANG, 2022). Com estas constatações, surge a necessidade de explorar abordagens alternativas para a construção de portfólios, incluindo técnicas que permitam uma elucidação mais eficaz dos ativos, tendo isto em vista, uma outra estratégia utilizada frequentemente por investidores vem sendo a replicação de índices oficiais em suas carteiras, como no caso do Brasil, o índice BOVESPA, que é tido como o principal indicador dos ativos negociados na bolsa de valores nacional, representando aproximadamente 80% do mercado total (B3, 2023). Entretanto, tal estratégia apresenta altos custos de transação, uma vez que a quantidade de ativos, seu peso no índice e o seu valor de mercado tende a variar com o tempo, o que torna o ato de replicar os seus resultados mais difícil (SANT'ANNA et al, 2017 apud SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023).

Sob essa égide, surge o problema do "Index Tracking", onde se busca replicar o desempenho de um dado índice minimizando o seu custo de transação e delimitando o número de ativos no portfólio (SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023). Diversos autores fizeram propostas de intervenções de modelos para a aplicação de index tracking, desde redes adversárias generativas e abordagens fuzzy (SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023) a algoritmos evolucionários combinados à programação quadrática, o que tende a um menor custo computacional, mesmo demonstrando bons resultados (RUIZ-TORRUBIANO; SUÁREZ, 2009).

Uma pergunta natural a se fazer ao se decidir adotar uma abordagem de index tracking é realizar um comparativo das diversas técnicas propostas, dentre as quais as que possuem resultados melhores e se a diferença em determinadas situações acentuaria ainda mais essa disparidade entre modelos. Tendo isto em vista, Amorim, Silva e Almeida Filho (2021) conduziram uma análise durante o período da pandemia de COVID-19 no contexto brasileiro mostrando que, de fato, não houve diferença significativa do resultado entre os modelos, apesar de alguns serem mais rápidos que outros e consumirem menos recursos computacionais, independente se elas utilizarem-se de técnicas de programação linear ou quadráticas se combinadas a um modelo de algoritmo genético (AMORIM; SILVA; ALMEIDA FILHO, 2021). Vale ressaltar também a importância do rebalanceamento dos portfólios, que tendem a reduzir o erro no tracking do índice a depender da frequência.

Ademais, nas últimas décadas, crises financeiras, sociais e ambientais impulsionaram, entre investidores e em meio a sociedade, a conscientização da responsabilidade social e ambiental das companhias (GARCÍA et al, 2019). Durante a COP 26 (Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de 2021), observou-se uma presença marcante dos principais atores globais do setor empresarial. Neste encontro, foram consolidadas alianças significativas entre indústria e governo com o objetivo de cumprir e efetivar os compromissos estabelecidos no Acordo de Paris (UNFCCC, 2018).

A partir destes pontos, o selo "ESG" surge em evidência no mundo dos investimentos, como indicador de preocupação social e ambiental das organizações nele incluídas. Vemos, pouco a pouco, que cada vez mais empresas estão adotando práticas ESG em busca de ter melhores resultados financeiros, uma melhor aparência frente ao mercado (KHAN, 2022) e uma maior resiliência frente às crises (PAVLOVA; DE BOYRIE, 2022).

Um dos problemas advindos da adoção do selo "ESG" é o chamado "Greenwashing", um efeito multifacetado e de difícil definição, mas onde a literatura tende a ser consistente em dizer que parte dele envolve práticas organizacionais de incutir no mercado uma noção de que uma determinada organização (neste caso, a que pratica o greenwashing) possui processos com um alto padrão de sustentabilidade, quando isso não necessariamente é verdade (NETTO et al., 2020).

Isto traz à tona preocupações que devemos ter ao fazer a classificação de ESG de organizações, bem como observar, cautelosamente, quais os parâmetros de classificação ESG que devemos utilizar para fazer análises.

Uma outra premissa a ser levada em consideração é que organizações com uma boa pontuação ESG geral tendem a ter, também, boas práticas de governança corporativa, uma vez que praticamente um terço de seu score ESG é relacionado com a adoção delas e a adoção de políticas sociais e de gerência ambiental tendem a denotar uma maior maturidade no modelo de negócio de uma determinada organização. Isto implicaria que, ações com uma boa governança corporativa e, por conseguinte, um bom índice ESG, teriam um menor custo para o investidor e, potencialmente, até retornos melhores que uma alocação tradicional de capital. Uma boa governança corporativa indica, também, um bom histórico de melhores tomadas de decisão por parte da alta administração de uma corporação, o que indica, também, uma possibilidade de se evitarem maiores perdas em momentos de crise e um maior aproveitamento dos retornos em tempos de lucro (GANZ; SCHLOTEFELDT; RODRIGUES JUNIOR, 2020).

1.2 Justificativa

A forte aderência, pouco a pouco, a um modelo de gestão ESG, pautado principalmente na elevação do patamar de gestão ambiental (consumo de água e energia, emissões de carbono, descarte de resíduos, etc), de governança corporativa (implementando programas de boas práticas na gerência, adotando medidas anti corrupção e expandindo os treinamentos aos setores mais necessitados da companhia, etc) e de práticas sociais (adoção de boas práticas trabalhistas, inclusão da comunidade onde se insere a organização no processo produtivo, ações para impedir disparidades raciais e de gênero nas mais diversas fases da cadeia produtiva, etc) no contexto organizacional tende a gerar uma certa atratividade por parte de investidores à empresas mais dispostas a seguir esse conjunto de práticas (KHAN, 2022), bem como espera-se que, no longo-prazo, organizações com aderência mais forte aos critérios de ESG consigam se beneficiar de incentivos fiscais devido ao reconhecimento de suas políticas ambientais (ZHU et al, 2023).

Com estas tendências, bolsas de valores no mundo inteiro adaptam seus critérios de avaliação para refletir a importância de práticas sustentáveis, uma evidência se vê na criação de produtos financeiros como o ETF Invesco S&P 500 ESG Index, que propõe a investidores americanos uma maior exposição à empresas que tenham boas práticas ESG. Para identificar empresas do mercado de ações brasileiro que adotam práticas ESG, a Bolsa Brasil Balcão (B3) introduziu o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), que avalia empresas por meio de questionários e informações auto-reportadas, cujo valor final é calculado com base em diversos fatores, desde gestão de recursos naturais e emissões de carbono até práticas de inclusão social e governança.

Percebemos, no entanto, que no cenário brasileiro, há uma carência de análises profundas sobre o desempenho e retorno de empresas consideradas ESG. Sendo necessária uma avaliação robusta de portfólios ESG, não apenas sendo necessário notar o seu desempenho, mas explorando possibilidades estratégicas, como o uso de Index Tracking, onde tentamos mensurar um retorno similar ao índice BOVESPA com diferentes quantidades de ativos ESG na carteira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Percebemos na literatura uma carência em relação às análises profundas sobre o desempenho e retorno das empresas ESG tendo em vista o mercado brasileiro. Torna-se imprescindível uma avaliação robusta de portfólios ESG para o mercado nacional, não apenas observando seu desempenho, mas também explorando possibilidades estratégicas. Visamos, então, expandir e aprofundar as pesquisas relacionadas às decisões sobre portfólios de investimento, considerando uma abordagem holística que inclua tanto critérios financeiros quanto critérios socioambientais. Uma das abordagens possíveis é a adoção de index tracking, visando alcançar resultados que espelham, da maneira mais precisa possível, o índice Bovespa, uma vez que tal abordagem, apesar de ser válida (AMORIM et al., 2021), não foi ainda usada sob um contexto de sustentabilidade, o que evidencia a possibilidade de descoberta de ainda mais resultados.

2.2 Objetivos Específicos

1. Investigar a resiliência de portfólios com maior concentração de ativos baseados em ESG durante períodos de instabilidade econômica, em especial, durante a crise do COVID-19.
2. Comparar o desempenho de portfólios estruturados com foco em ativos ESG com aqueles que possuem composições mistas ou sem ativos ESG.
3. Investigar se a presença de ativos ESG em portfólios colabora para uma maior resiliência e estabilidade durante volatilidades do mercado.
4. Implementar técnicas de "index tracking" para portfólios contendo ESG em carteiras de estratégia "Buy and Hold" para entender seu comportamento a médio e longo prazo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ESG

ESG é uma sigla em inglês referente à "Ambiente" (E), "Social" (S) e "Governança" (G) e reflete os impactos da gestão corporativa sob uma ótica de preservação do meio-ambiente, prestação de serviços à sociedade e adesão de boas práticas de governança corporativa (LING et al., 2023). Especialmente com o advento da crise ambiental e as crises sociais do século XXI, a sociedade e investidores passaram a cobrar de corporações um posicionamento com relação a estes pontos, impactando de uma forma ou de outra, na forma como os investimentos são alocados.

Sob um contexto internacional, vários órgãos fazem uma verificação e possuem um esquema de dar notas de nível ESG para corporações distintas baseados em análises próprias, como é o caso das análises da Bloomberg (n.d.), que se pautam na taxonomia das empresas, verificando, por exemplo, a sua quantidade de dívidas consideradas sustentáveis para obter um julgamento das práticas de governança, as suas emissões de carbono e seu impacto na temperatura para julgar a seu impacto ambiental e dados de igualdade de gênero nas companhias para analisar seu impacto ambiental, entre outras variáveis.

No Brasil, a B3 idealizou um índice chamado de ISE, que almeja medir as empresas que concordarem com a sua participação no índice em cinco diferentes métricas correlacionadas aos critérios de ESG, são elas: composição do capital social, composição do capital humano, práticas de governança corporativa e de alta gestão, práticas de gestão ambiental e uma análise de seus modelos de negócio e inovação (ISE B3, 2023). A carteira do ISE é atualizada anualmente com os ativos que mais houverem práticas tidas como sustentáveis de acordo com a resposta de seus questionários do ano anterior.

A partir do ano de 2022, entretanto, o índice ISE alterou sua metodologia, o que implicou na adição de mais ativos ao seu portfólio, tendo incorporado dados de duas fontes externas nas suas análises, sendo o primeiro deles o uso de dados do CDP para análises ambientais mais profundas e dados da RepDisk para análises de risco e práticas de governança corporativa (ISE B3, 2022).

Uma das limitações, entretanto, de indicadores ESG, como os discutidos anteriormente, é a sua predisposição a serem afetados de alguma forma pelo fenômeno de "greenwashing", que pode vir a afetar as percepções de diversos setores do mercado, inclusive de consumidores, sobre suas práticas de preocupação ambiental (NETTO et al., 2020).

3.2 Index Tracking

Uma das técnicas de investimento utilizadas pelos investidores para além do uso das clássicas técnicas de seleção de portfólios é o utilização de um índice oficial como base (SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023), como por exemplo, o índice BOVESPA no Brasil ou do S&P 500 nos Estados Unidos. Entretanto, alguns problemas acabam sendo trazidos à tona para investidores que seguem essa estratégia, mais explicitamente são eles:

- Uma vez que a composição dos índices muda, os investidores precisam sempre ter como alocar seu capital periodicamente para refletir as mudanças dos pesos dos ativos nas carteiras (BEASLEY et al., 2003).
- Os custos de transação relacionados à variação do preço dos ativos pertencentes aos portfólios tendem a ser altos, uma vez que rebalanceamentos têm de ocorrer frequentemente caso o investidor preze pela adaptação ao índice completamente (FABOZZI et al., 2007), o que prejudica os retornos dos portfólios.

Sob esta perspectiva, surgiu o problema do index tracking, que se refere ao desenvolvimento de técnicas para que se possam minimizar os custos de transação de um portfólio tendo em vista a emulação o mais próximo possível de um índice sob análise.

Com o advento do modelo de Ruiz-Torrubiano e Suárez (2009), foi-se proposta uma solução quase-ótima para esse problema, uma vez que admite-se que uma solução ótima não existe, já que o problema se trata de um NP-hard. Fazendo-se uma mistura entre duas diferentes abordagens, sendo uma um algoritmo genético para delimitar quais ativos são os ideais para um portfólio "w" e, a

seguir, qual o peso ideal para cada um dos ativos a partir de técnicas de programação quadrática.

A partir dos valores obtidos de preço histórico diário das ações, foi possível obter a matriz de retornos diários de cada ação. Dado que p_{it} é o preço da ação $i = 1, 2, \dots, N$ no instante de tempo t , onde $t = 1, \dots, T$. O log-retorno diário da ação i é definido como $r_{it} = \ln(p_{it}) - \ln(p_{i(t-1)})$. O portfólio de ações é representado por uma matriz w com dimensões $N \times 1$. O retorno do portfólio no período t é dado por $r_{pt} = \sum_{i=1}^N w_{it} r_{it}$. O objetivo do modelo de Ruiz-Torrubiano e Suárez (2009) é obter um portfólio w que alcance uma performance similar ao índice de referência, minimizando-se o tracking error:

$$MSE(r_p, r_l) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_{pt} - r_{lt})^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N w_{it} r_{it} - r_{lt} \right)^2 \quad (1)$$

onde r_{lt} é o retorno do índice no instante t . Mantendo-se os pesos do portfólio constantes durante o período de otimização, os valores que os fazem minimizar o valor de (3) podem ser encontrados ao solucionar o seguinte problema de otimização inteira-mista quadrática (Ruiz-Torrubiano e Suárez, 2009):

$$\text{Min}_w \left[\frac{1}{2} w' \cdot H \cdot w - g' \cdot w \right] \quad (2)$$

Com as seguintes definições:

$$H_{ij} = \frac{1}{T} \sum_t r_{it} r_{jt}, \quad i, j = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$g_i = \frac{1}{T} \sum_t r_{it} r_{lt}, \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N z_i = K \quad (6)$$

$$a_i z_i \leq w_i \leq b_i z_i, \quad a_i, b_i \geq 0; \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

onde as variáveis binárias z_i podem assumir valor 1 se o ativo está incluído no portfólio e 0 quando não. A equação (5) assegura que todo o capital disponível será investido no portfólio. A equação (6) estabelece o limite de ativos a serem incluídos na carteira. Por fim, a equação (7) impõe limites de participação de um ativo, isto é, em caso de inclusão no portfólio, o peso de um ativo i deve se manter acima de a_i e abaixo de b_i , garantindo uma maior diversificação do portfólio. Além disto, a equação (7) garante que os pesos de todos os ativos sejam positivos, não permitindo ao modelo operações de venda à descoberto.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

As mais novas metodologias de Index Tracking geralmente percorrem caminhos onde se discutem quais os ativos selecionados para os portfólios. Diferentes abordagens foram propostas para lidar com as restrições de cardinalidade "K" representando a quantidade de ativos no portfólio, desde o uso de técnicas de regressão, aprendizagem de máquina e programação quadrática (SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023).

Ruiz-Torrubiano e Suárez (2009), visando explorar as probabilidades de desenvolvimento de técnicas de index tracking, implementaram uma estratégia utilizando-se de algoritmos híbridos, utilizando-se de algoritmos evolucionários para a seleção de ativos e técnicas de programação quadrática para a otimização da carteira. Utilizando-se, então, de históricos dados de treino, delimitados por um período anterior ao da análise, para que sejam geradas as melhores carteiras possíveis. O algoritmo resultante teve um custo computacional baixo e resultados quase-ótimos, sendo bastante replicado e analisado em estudos seguintes de análises de investimento, como por exemplo Amorim et al. (2021).

Amorim et al. (2021), em suas implementações de modelos de index tracking para analisar o desempenho de portfólios determinados por ele durante a pandemia, utilizou-se do modelo proposto por Ruiz-Torrubiano e Suárez (2009) em comparação com um modelo de otimização linear, utilizando-se de dados do índice BOVESPA de 2018 a 2020 e de uma API solver do *IBM DOCPLEX* (IBM, 2021) visando replicar os modelos em suas aplicações e ainda comparando-o com um algoritmo genético proposto por Sant'Anna et al. (2017). No fim, percebe-se que as aplicações, tanto de técnicas quadráticas quanto de técnicas lineares para otimização de portfólio foram eficazes e tiveram bons resultados frente ao índice analisado, apesar de possuir limitações nas estratégias de rebalanceamento.

Por fim, Silva e Almeida Filho (2023), propuseram o uso de redes adversárias generativas para se criar um conjunto de treinamento, pautado nos índices, para os algoritmos genéticos já discutidos propostos nas aplicações de Index Tracking, ao invés de dados reais do mercado brasileiro. Com estes resultados, verificou-se não apenas um melhor aproveitamento sob a forma de minimização dos erros de tracking do algoritmo, como também iniciando-se toda uma discussão sobre a

aplicação de dados sintéticos no treinamento de modelos cuja função seja criar portfólios.

Apesar das técnicas demonstradas por Silva e Almeida Filho (2023) terem demonstrado resultados promissores com o uso de dados sintéticos para a geração de portfólios com técnicas de index tracking, ainda assim, a utilização de tais modelos veem-se proibitivas em alguns casos, especialmente dado que redes adversárias generativas necessitam de arquiteturas e esquemas robustos tais quais redes neurais (DE LA TORRE, 2023), o que pode impactar no desenvolvimento de trabalhos. Enquanto que a utilização de técnicas se utilizando tanto de programação quadrática e programação linear em combinação a algoritmos genéticos por Amorim et al. (2021) através de APIs como a *IBM DOCPLEX* (IBM, 2021), nos possibilitou a observação de algoritmos com resultados quase-ótimos e com um custo computacional reduzido, baseando-se no modelo de Ruiz-Torrubiano e Suárez (2009).

Quando nos atemos à pesquisas sobre as implicações de ESG em portfólios de investimentos, temos uma literatura mais abrangente, com trabalhos advindo na intenção de mensurar mais efetivamente o desempenho de ativos e produtos financeiros considerados ESG em médio-prazo (PAVLOVA; DE BOIRYE, 2022), a sua consideração como peso extra para uma análise de portfólio (GARCÍA et al., 2019). Torna-se necessária a observação dos estudos e suas metodologias para, então, compreendermos quais os caminhos passíveis de serem tomados.

García et al. (2019), tentando inserir um peso para ativos ESG em portfólios, fez o uso de scores ESG obtidos pela pesquisa utilizando como fonte os dados ESG da Bloomberg e o utilizou como uma das variáveis fuzzy analisadas na hora de montar portfólios. Nisso, utilizou-se, então, de uma estratégia de seleção multicriterial, visando aumentar o score ESG e o retorno das seleções enquanto diminuindo o risco das aplicações. A pesquisa mostrou resultados válidos e promissores, onde os retornos ocorrem em uma boa medida, considerando as questões éticas e os riscos dos investimentos até então analisados.

Liagkouras et al. (2020), baseando-se nos estudos sobre criação de portfólios ESG disponíveis até então, decidiu adotar a otimização de portfólios apenas em carteiras que incluam apenas ativos que sejam unicamente ESG entre si, usando-se

de dados do FTSE-1000 Corporate Social Responsibility Index de modo inovador, ao selecionar um piso aceitável de desempenho de sustentabilidade para os ativos analisados. Desta forma, aplicou-se o método de média-variância de Markowitz (1952) gerando carteiras apenas com ativos considerados ESG, mostrando que o peso de focar apenas em ativos ESG vem com custos maiores ao investidor que uma abordagem mais tradicional.

Visando entender as correlações entre os impactos de uma crise em produtos financeiros (ETFs) e suas classificações com relação ao ESG, Pavlova e De Boirye (2022), traçaram uma análise de portfólios para o período de 2019 a 2020, visando compreender a dimensão do impacto da crise em carteiras ESG. Foi-se descoberto que, apesar de antes da crise, carteiras mais fortes em ESG não terem demonstrado rendimentos superiores ao mercado e não terem sido protegidas das quedas durante a crise do COVID-19, elas tiveram uma recuperação da crise equiparável ao mercado.

Khan (2022), percebeu que apesar de diversas organizações estarem adotando práticas ESG, seja na intenção de aumentar suas receitas ou sinalizar ao mercado, a correlação entre performance financeira e ESG ainda não estava bem delimitada na literatura e, portanto, a partir de uma análise da literatura, observou que, não só havia um foco muito grande em empresas já de grandes escala para análise de seu desempenho ESG, para além de seu desempenho financeiro, o que enviesa as análises dispostas e admite que uma análise mais geral do mercado há de ser feita. Tal trabalho pode ser visto como complementar ao de Liagkouras et al. (2020), onde verifica-se um custo maior ao investidor por adotar uma abordagem consciente de ESG, mesmo que as especulações sejam de que os resultados financeiros sejam melhores (KHAN, 2022).

Ling et al. (2023) tentou estudar como as preferências de ESG dos investidores afetariam a performance de portfólios usando o modelo de erros de média variância (MARKOWITZ, 1954), visando encontrar o maior valor de Information Ratio possível (GOODWIN, 1998). O estudo encontrou que, embora haja uma preferência por um alto nível ESG em portfólios por parte de investidores conscientes, um maior nível ESG não necessariamente condiz com um bom nível de IR para o portfólio, muitas vezes inclusive seguindo um padrão inverso entre IR e nível ESG de um portfólio.

Yadav et al. (2023), baseando-se em dados bancários disponibilizados, desenvolveu uma abordagem mais intuitiva para criação de portfólios de investimento com foco em companhias que seguissem determinados critérios econômicos, sociais e ambientais, onde, inicialmente, filtram-se as empresas que possuem negócios tidos como éticos dados os critérios de análise, depois, calcula-se uma pontuação de sustentabilidade para estas empresas dadas as informações disponíveis e, por fim, um modelo fuzzy multi-objetivo, visando maximizar os retornos e o score ESG do portfólio, mas minimizando seus riscos. Entretanto, o modelo usado é muito limitado, uma vez que necessita de entrada de dados linguísticos de experts das áreas de atuação, inclusive, para o cálculo de qualquer rebalanceamento que possa vir a ser necessário na carteira.

Nas análises feitas por Khan (2022), vemos um questionamento sobre o teórico impacto de ativos ESG no portfólio e uma conclusão de que as pesquisas até então eram inconclusivas e que há uma lacuna entre aquilo que se é defendido e as observações práticas. Liagkouras et al. (2020), Ling et al. (2023) e Pavlova e De Boyrie (2022) buscaram, portanto, medir esses impactos, observando, na verdade, uma tendência oposta àquela que se era esperada, onde se observou que um portfólio baseado unicamente em ativos ESG tende a dar menos retornos ao investidor, apesar de ainda podermos observar que estes portfólios podem ter uma recuperação equiparável ao mercado em tempos de crise.

Vemos nos trabalhos de Yadav et al. (2023) e García et al. (2019) ambos adotaram uma abordagem fuzzy para determinar ativos sustentáveis na construção de portfólios, onde o primeiro se utilizou de dados bancários e criou critérios e fases para delimitar o universo dos ativos analisáveis para os portfólios enquanto o último preferiu se utilizar dos scores Bloomberg de sustentabilidade e usar ele como fator de maximização, além de prezar pela maximização do retorno e minimização dos riscos.

A maioria das abordagens relacionadas à aplicação de ESG em portfólios até então se baseou na análise caso-a-caso (PAVLOVA; DE BOYRIE, 2022) ou na utilização de algoritmos fuzzy e seleção multi-critérios ou multi-objetivos (GARCÍA et al. 2019; YADAV et al. 2023), mas, para que façamos mais análises do desempenho de portfólios com peso ESG, devemos usar outro métodos de formação de portfólios como o uso do index tracking (SILVA; ALMEIDA FILHO, 2023).

5 METODOLOGIA

5.1 Conjunto de dados

Foram analisados vários dados de ordem financeira, com uma grande lista de ativos para cada um dos anos analisados, onde, para cada ano, a lista era subdividida entre “Ações ESG” e “Ações Não-ESG”. Para determinar uma ação ESG, usamos a lista de ativos participantes na carteira ISE, cuja intenção é a obtenção de resultados após uma análise de indicadores ESG, da B3, para cada um dos anos 2019, 2020 e 2021, cujas informações de negociação puderam ser obtidas.

Vale explicitar que, para cada um dos anos, o próprio índice BOVESPA conteve diferentes níveis de ações consideradas ESG dentro das suas carteiras durante os anos: das 65 ações participantes no índice em 2019, 22 eram consideradas ESG; das 73 ações participantes no índice em 2020, 26 eram ESG; e, por fim, em 2021, das 81 ações participantes do índice, 35 eram consideradas ESG. Dessa forma, observamos um aumento na participação de ativos ESG no índice BOVESPA com o passar dos anos, saindo de aproximadamente 33% dos ativos em 2019 para aproximadamente 43% na carteira de 2021.

As ações não-ESG foram escolhidas tendo em mente a seleção de empresas que fossem concorrentes diretas das empresas que também fossem consideradas ESG, dando preferência para aquelas que estivesse incluídas no índice BOVESPA e, em caso de não haver ou concorrente direto, foram inseridas ações já incluídas no índice BOVESPA na busca de atingir uma proximidade de cardinalidade.

Tabela 1 - Lista, por ano, de ações consideradas ESG e não-ESG para a análise

Lista	2019	2020	2021
ESG	BBAS3, CIEL3, BBDC4, BRKM5, ECOR3, CCRO3, CMIG4, ELET6, EGIE3, FLRY3, ITUB4, ITSA4, KLBN11, TIMS3,	BBAS3, BBDC4, BRFS3, BPAC11, CCRO3, CMIG4, CIEL3, CSAN3, ECOR3, ELET6, EGIE3, FLRY3, ITUB4, ITSA4,	AMER3, AZUL4, BBDC4, BBAS3, BPAC11, BRKM5, BRFS3, CCRO3, CMIG4, CIEL3, CPLE6, CSAN3, CPFE3, ECOR3,

	WEGE3, AMER3, LREN3, MRVE3, SANB11 e VIVT3	KLBN11, AMER3, LREN3, MRFG3, MRVE3, SANB11, SUZB3, VIVT3, PETR4, TIMS3 e WEGE3	ELET6, EGIE3, FLRY3, ITUB4, ITSA4, KLBN11, LREN3, MGLU3, MRFG3, MRVE3, NTCO3, RADL3, RAIL3, SANB11, SUZB3, TIMS3, VIVT3 e WEGE3
Não-ESG	MGLU3, BRSR3, B3SA3, BPAC11, DEXP3, TPIS3, VALE3, TAEE11, COCE5, ALUP4, QUAL3, BSLI3, SUZB3, OIBR4, SHUL4, CYRE3, BMIN4, CSNA3, ABEV3, JBSS3	MGLU3, BRSR3, JBSS3, BSLI3, TPIS3, COCE5, B3SA3, VBBR3, ENGI3, ENEV3, QUAL3, MSPA3, SBFG3, BEEF3, TRIS3, SHUL4, NEMO3, OIBR4, BMEB4, PMAM3, CYRE3, EQTL3, GGBR3, e PMAM3	GOLL4, BMGB4, BRSR6, DEXP3, BEEF3, TPIS3, COCE5, B3SA3, ENGI11, PRIO3, ENEV3, VALE3, EQTL3, BMEB4, MSPA4, CVCB3, SOMA3, GGBR4, BEEF3, JHSF3, BOBR3, HYPE3, MRSA3B, BRIV3, TAEE11, NEMO3, OIBR4, VALE3, TOTS3, SHUL4

Fonte: Próprio autor

Os preços históricos para cada ativo foram consultados a partir da Yahoo Python API, buscando dados de 2018-08-01 a 2021-12-31.

5.2 Configuração dos Modelos

Foi desenvolvido um solver baseado em uma estratégia de branch-and-cut utilizando-se a API de modelagem para Python do IBM DOCPLEX (IBM, 2021) para aplicar as estratégias de programação quadrática e os algoritmos evolutivos propostos por Ruiz-Torrubiano e Suárez (2009), explicitado o seu funcionamento nos referenciais teóricos deste trabalho, considerando as restrições necessárias, uma vez que, como observado nos trabalhos relacionados, o modelo apresentou resultados satisfatórios. Essa abordagem foi capaz de nos retornar resultados quase ótimos em um tempo de execução prático, com um custo computacional reduzido e permitindo que mais restrições possam ser aplicadas ao modelo.

O parâmetros adotados pelo modelo no experimento foram os seguintes:

- Quantidade de ativos do portfólio

$$K = 10$$

- Exposição mínima de capital para um ativo no portfólio

$$L_i = 0.0$$

- Exposição máxima de capital para um ativo no portfólio

$$U_i = 1.0$$

- Exposição de capital unicamente para ativos ESG no portfólio

$$\beta = \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 1.0\}$$

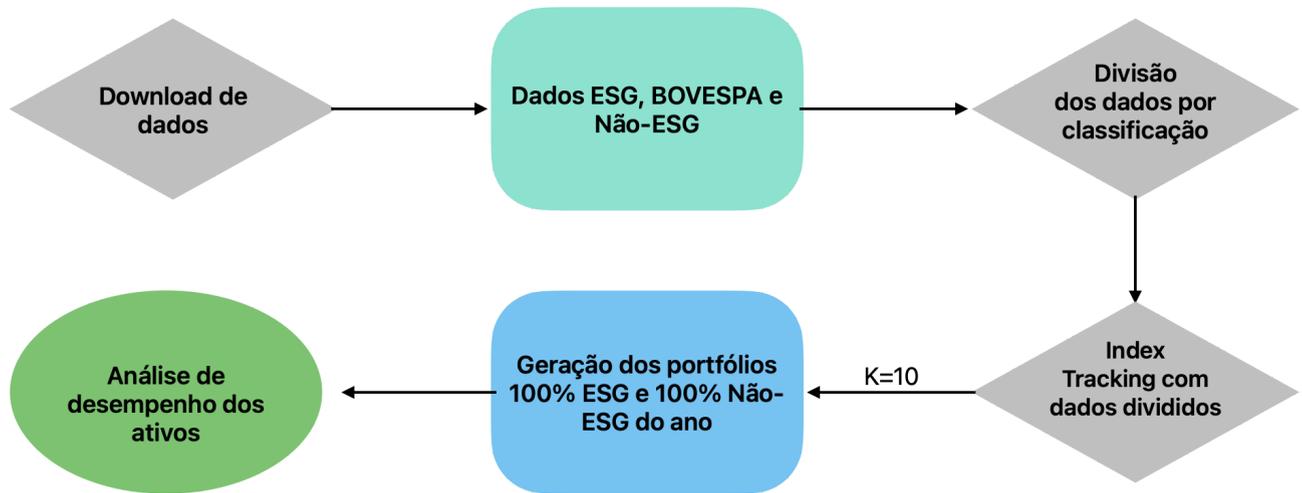
Este estudo propõe a aplicação deste modelo de otimização de portfólio considerando uma restrição de classe que exige um percentual pré-definido de capital aplicado a ativos ESG no portfólio:

$$\sum_{i \in \theta} w_i \geq \beta \tag{9}$$

onde θ é o conjunto de ações classificadas como ESG pela metodologia da B3 em um determinado ano e " β " é a proporção de capital que deve ser aplicada em ativos classificados como ESG.

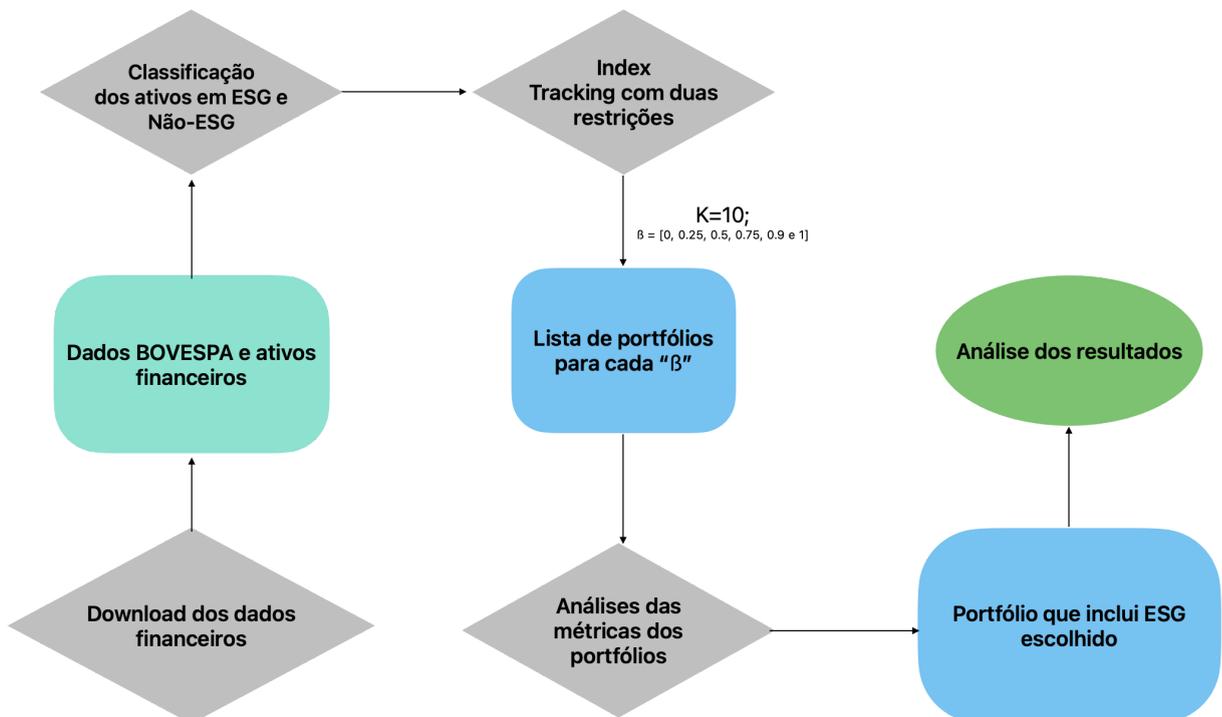
5.3 Design de Experimento

Figura 1 - Fluxograma do Experimento 1



Fonte: Próprio autor

Figura 2 - Fluxograma do Experimento 2



Fonte: Próprio autor

Inicialmente, nossas análises se basearam na comparação entre os resultados de um portfólio composto por 10 ativos considerados ESG, com pesos

variados, delimitados pelo algoritmo de solução proposto por Ruiz-Torrubiano e Suárez com um portfólio composto por 10 ativos não-ESG, delimitados da mesma maneira que o portfólio ESG, levando em conta o index tracking do índice BOVESPA para o ano, usando como base de treino os 100 últimos dias de negociação do período anterior à criação da carteira ISE da B3. Após isso, o procedimento foi repetido para a montagem de portfólios com diferentes porcentagens de participações de ativos ESG (100%, 90%, 75%, 50% e 25%) e escolhidos como portfólio de comparação ao índice Bovespa e ao portfólio não-ESG com base em métricas de análise usando o Tracking Error, o Retorno Ativo e a Proporção de Informação para a análise do portfólio ideal (BEASLEY, 2003; PETERSON, 2022; GOODWIN, 1998).

A Figura 1 ilustra o processo discutido da primeira etapa da nossa pesquisa, onde para cada um dos anos analisados, iríamos fazer uma análise do portfólio escolhido por Index Tracking onde " $\beta=1$ " e " $\beta=0$ " contra o índice BOVESPA. Vale ressaltar que, para cada ano analisado, como a lista da B3 de ativos ESG mudam, nós fizemos o rebalanceamento de ambas carteiras anualmente.

A Figura 2 explicita a segunda parte da metodologia da nossa pesquisa, onde comparamos portfólios que incluem graus variados de peso de ativos ESG em si e, se baseando nas métricas explicitadas anteriormente, visamos fazer a seleção dos portfólios que maximizem o retorno anual e a proporção de informações (GOODWIN, 1998; PETERSON, 2022), mas que minimizem os demais critérios buscados (PETERSON, 2022; BEASLEY, 2003). A partir da escolha do portfólio julgado como o melhor portfólio onde " $\beta \geq 0.25$ ", partimos para uma análise onde colocamos frente a frente os resultados mostrados pelo melhor portfólio com 0% de peso ESG e pelo índice BOVESPA.

Foram usadas as seguintes métricas para determinar os portfólios ideais na segunda análise:

$$\text{Retorno anualizado} = c^{252/T} - 1 \quad (10)$$

$$TE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T d_t^2}{T}} \quad (11)$$

$$TE \text{ Máx} = \max(d_t^2) \quad (12)$$

$$ER = \mu(d_t) \quad (13)$$

$$-ER \text{ Máx} = \max(-d_t) \quad (14)$$

$$IR = ER/TE \quad (15)$$

Onde $d_t = r_{pt} - r_{It}$ são os desvios da performance do portfólio em relação ao índice. A Equação (10) mostra como é calculado o retorno anualizado, considerando um ano com 252 dias comerciais, onde $c = \prod_{t=1}^T (1 + r_t)$ é o retorno acumulado, considerando T amostras sequenciais do retorno do portfólio. TE, na Equação (11), se refere ao tracking error, calculado como a raiz quadrada do erro médio quadrático entre os retornos do portfólio e do índice (BEASLEY, 2003) e TE Máx (Equação (12)) é o máximo desvio em relação ao índice. ER (Equação (13)) se refere ao retorno ativo do portfólio, que se trata da média, em si, das distâncias entre o portfólio e o índice e -ER Máx (Equação (14)) representa a perda máxima ou pior retorno do portfólio em relação ao índice (BRUNI et al., 2015). Já a "Information Ratio" é referente à capacidade do gestor em superar o índice, considerando a sua

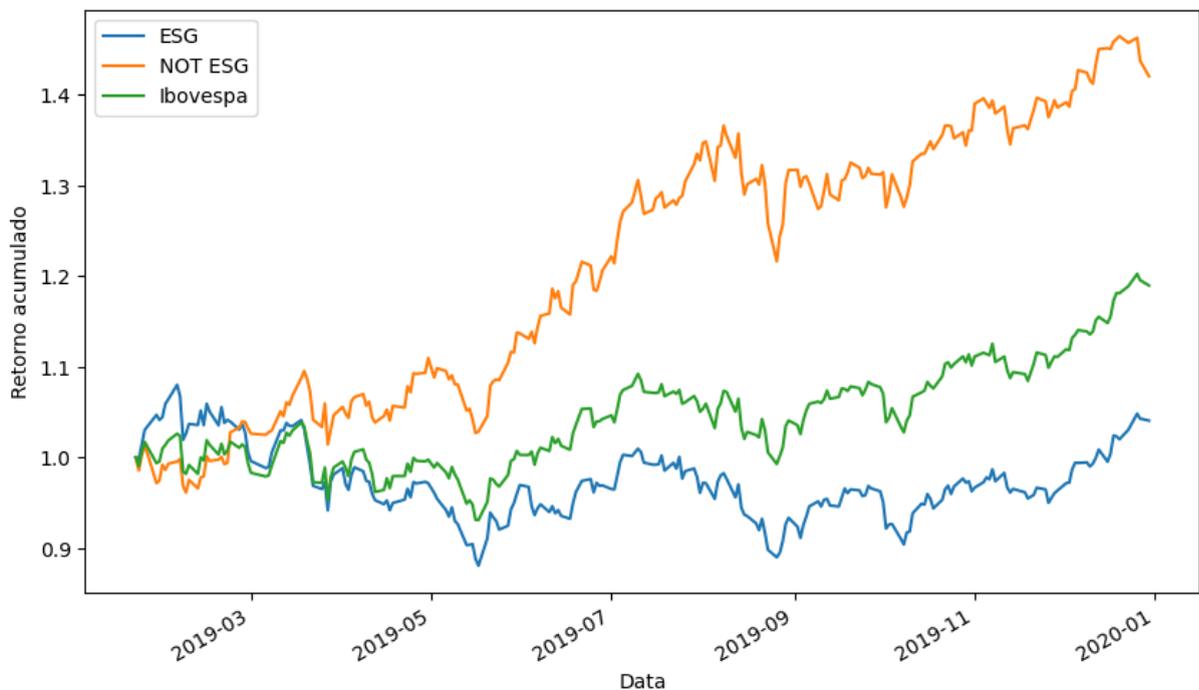
consistência em superar o índice. Como mostrado na equação (15), a IR é calculada pelo ER dividido pelo TE (GOODWIN, 1998).

6 RESULTADOS

6.1 Comparação de portfólios ESG e Não-ESG

Nossa primeira análise foi feita baseando-se na escolha de portfólios visando fazer o *Index Tracking* do índice Bovespa, usando os dados dispostos pela B3 no seu índice ISE, chamado de "Portfólio ESG" e repetindo o mesmo procedimento para um portfólio aqui chamado "Portfólio NOT-ESG", baseado em utilizar concorrentes de cada uma das ações do Portfólio ESG, mas que não estão incluídos no índice ISE. Com isso, verificam-se nas figuras seguintes os resultados obtidos, por ano, de cada uma destas análises.

Figura 4 - Rendimento Acumulado em 2019 por Portfólio

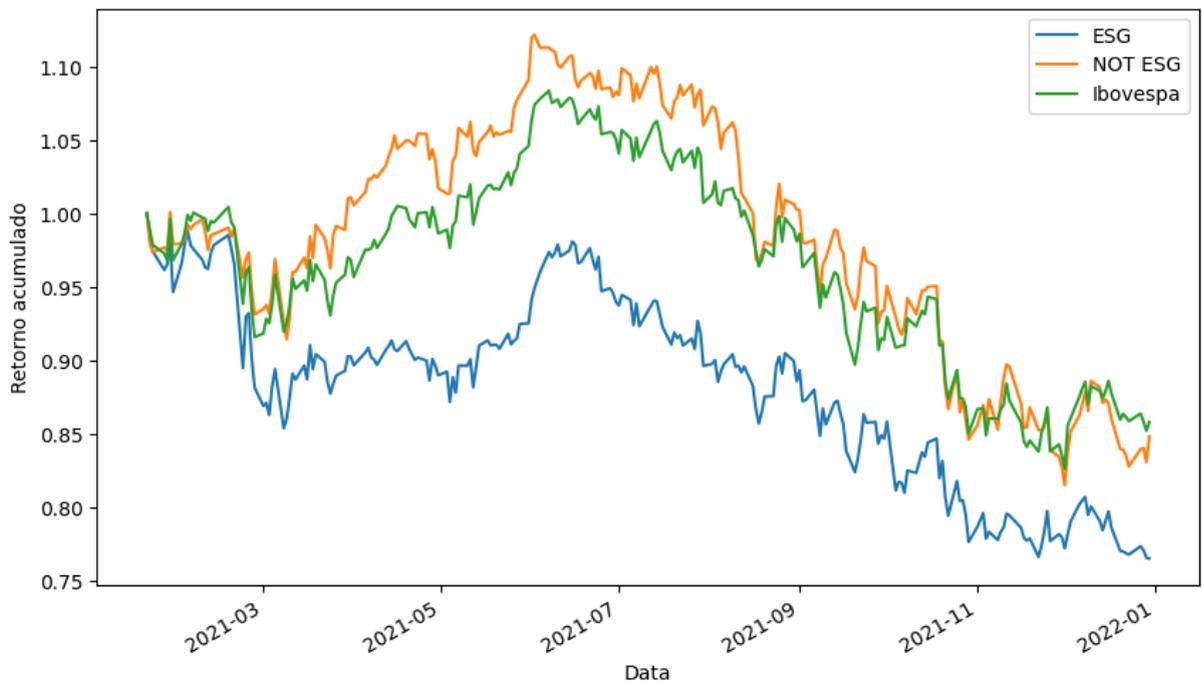


Fonte: Próprio Autor

Nas figuras 4, 5 e 6, vemos uma comparação do retorno acumulado entre um portfólio escolhido usando index tracking usando as ações fazendo parte do grupo de ações ESG e que faziam parte do Índice Bovespa nos anos 2019, 2020 e 2021, comparado com concorrentes no mesmo setor que não são considerados ISE. Podemos observar que a adoção de um portfólio apenas de ações ISE por si só não traz retornos maiores que o Bovespa.

Figura 5 - Rendimento Acumulado em 2020 por Portfólio

Fonte: Próprio Autor

Figura 6 - Rendimento Acumulado em 2021 por Portfólio.

Fonte: Próprio autor

A análise exposta também trás a nota o custo da sustentabilidade para os investidores, onde um foco exclusivo em ativos que sejam classificados como ESG

tende a refletir negativamente nos resultados da carteira quando comparado ao índice que se está tentando replicar.

Tendo em vista essas conclusões, uma outra análise faz-se necessária a comparação entre portfólios mistos, usando diferentes porcentagens de ativos ESG necessários na sua composição.

6.2 Otimização de portfólio usando critérios ESG

Port. 2019	Retorno anualizado	TE	TE Máx.	ER	- ER Máx.	Info. Ratio
100% ESG	-0.210346	0.00056	0.001678	-0.000646	0.033995	-1.137846
90% ESG	-0.203814	0.00045	0.001124	-0.000572	0.027664	-1.249248
75% ESG	-0.147414	0.00047	0.001693	-0.000367	0.023740	-0.780301
50% ESG	-0.092172	0.00041	0.000854	-0.000085	0.024331	-0.202995
25% ESG	0.085660	0.00038	0.000873	0.000578	0.029553	1.501962
0% ESG	0.087376	0.00066	0.002032	0.000499	0.045073	0.748891

Tabela 2 - Resultados das comparações de portfólios de 2019

Port. 2020	Retorno anualizado	TE	TE Máx.	ER	- ER Máx.	Info. Ratio
100% ESG	-0.213921	0.00038	0.000417	-0.000521	0.020420	-1.339004
90% ESG	-0.186627	0.00043	0.001128	-0.000526	0.020071	-1.211044
75% ESG	-0.214588	0.00040	0.000841	-0.000600	0.028996	-1.474984
50% ESG	-0.104032	0.00036	0.000929	-0.000171	0.024598	-0.472711
25% ESG	-0.038859	0.00048	0.001669	0.000049	0.037361	0.102071
0% ESG	-0.011754	0.00085	0.006952	0.000056	0.083378	0.065743

Tabela 3 - Resultados das Comparações de Portfólios de 2020

Port. 2021	Retorno anualizado	TE	TE Máx.	ER	- ER Máx.	Info. Ratio
100% ESG	-0.332786	0.00041	0.002036	-0.000932	0.04512	-2.244992
90% ESG	-0.196930	0.00039	0.002233	-0.000204	0.047253	-0.518418
75% ESG	-0.216043	0.00036	0.001649	-0.000313	0.040606	-0.855684
50% ESG	-0.203582	0.00029	0.000501	-0.000250	0.022373	-0.841575
25% ESG	-0.202774	0.00031	0.000595	-0.000252	0.024387	-0.806631

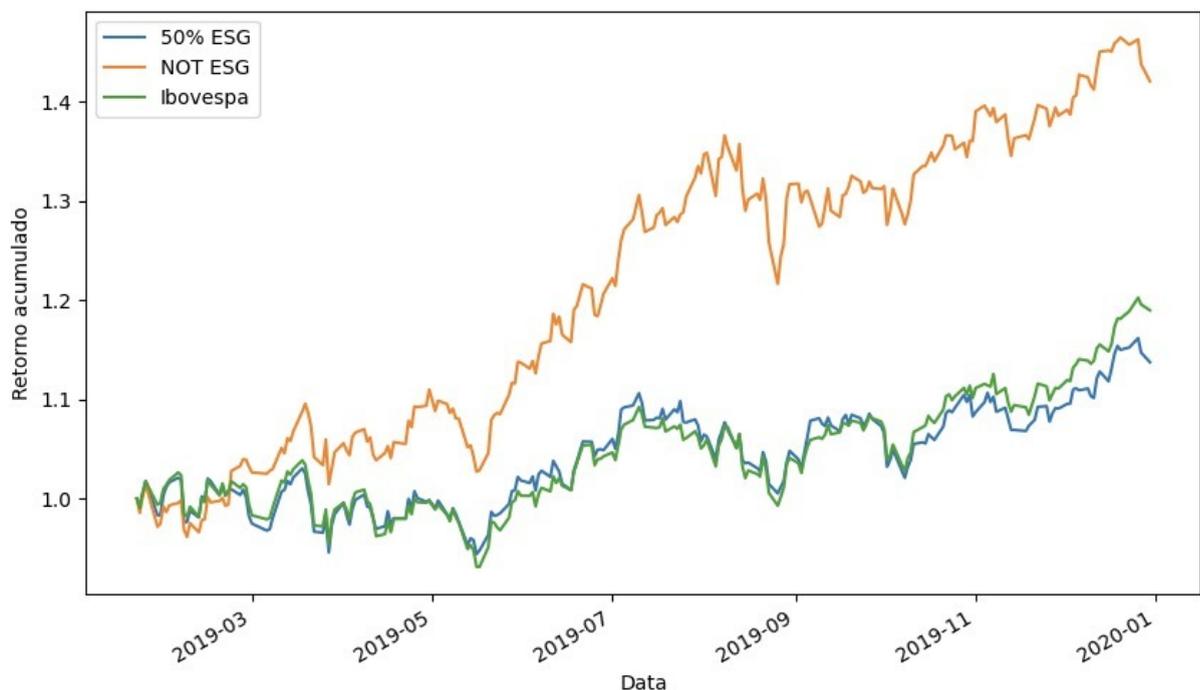
0% ESG	-0.218302	0.00036	0.000937	-0.000326	0.030605	-0.893634
--------	-----------	---------	----------	-----------	----------	-----------

Tabela 4 - Resultados das Comparações de Portfólios de 2021

A partir da análise de diferentes portfólios usando a metodologia discutida no tópico anterior, fizemos análises para cada um dos $\beta = \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 1.0\}$, indicando a porcentagem de capital alocado para ativos ESG (respectivamente 0%, 25%, 50%, 75%, 90% e 100%) e fizemos uma seleção multi-critérios, selecionando aqueles portfólios que, por ano, apresentassem o maior retorno anualizado, information ratio e ER, mas minimizando os demais critérios.

Sob essa análise, foram selecionados para 2019, o portfólio de 50% ESG; para 2020 o 25% ESG e, por fim, para 2021, o de 90% ESG. Com isso, foi-se discutida qual a vantagem comparativa dos portfólios dispostos contra o índice Bovespa e o portfólio sem ações ESG.

Figura 7 - Comparativo entre portfólios para o ano de 2019



Fonte: Próprio Autor

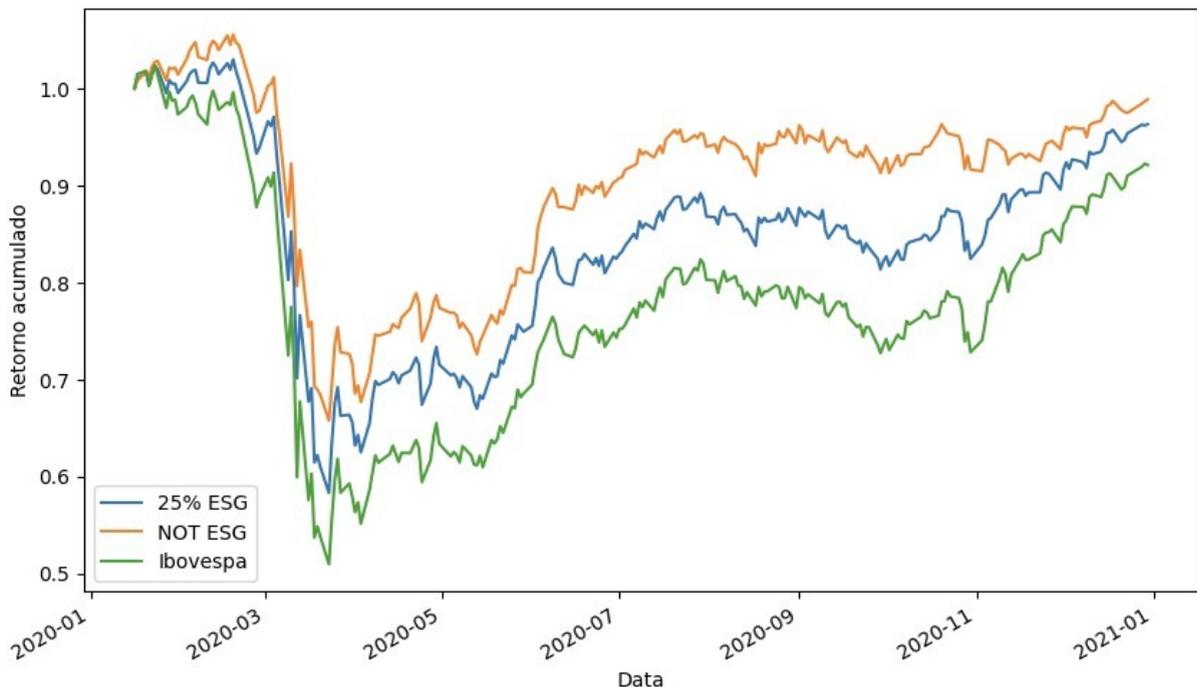
Podemos perceber que no ano de 2019, o portfólio não-ESG parece ter um retorno não somente ao portfólio selecionado para a análise, como também ao próprio índice Bovespa, enquanto portfólio ESG escolhido obteve um resultado inferior a ambos comparativos. Entretanto, quando vemos em 2020, no auge da

crise do COVID, apesar do portfólio não-ESG ter tido um melhor desempenho e uma menor queda, o portfólio ESG escolhido mostrou-se resiliente em mesma medida, tendo os dois portfólios ultrapassado o desempenho do índice Bovespa no ano.

Já em 2021, observa-se, pela primeira vez na análise, que o portfólio ESG ultrapassa o desempenho do portfólio não-ESG, apesar de ainda se verificar que ambos os portfólios tiveram um resultado inferior ao índice Bovespa. Chama atenção a liderança que o portfólio ESG abre na segunda metade do ano contra o índice.

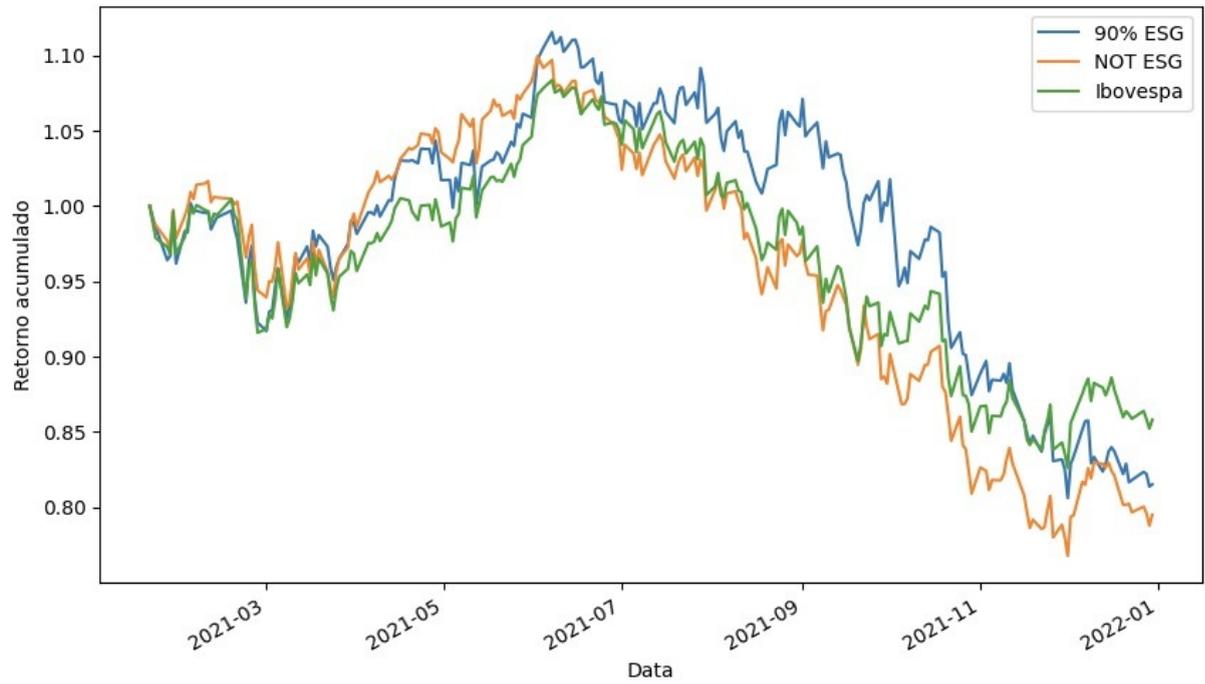
Uma outra questão que pode ser trazida é que uma grande quantidade de ativos pertencentes ao índice Bovespa acabaram sendo parte da lista de ativos ESG no ano 2021, o que pode explicar a alta porcentagem de envolvimento destes ativos no portfólio deste ano. Vale inclusive ressaltar o papel que os ativos da Petrobras (PETR3 e PETR4) tiveram nos anos de 2020 e 2021, aproximadamente 5% do peso do índice BOVESPA, o que pode ter acarretado em uma maior proximidade do resultado ESG ao resultado do portfólio nesses cenários.

Figura 8 - Comparativo entre portfólios para o ano de 2020



Fonte: Próprio autor

Figura 9 - Comparativo entre portfólios para o ano de 2021



Fonte: Próprio autor

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisa a construção de portfólios usando técnicas de index tracking sob o contexto brasileiro, tendo em vista o índice BOVESPA como comparativo. Nós consideramos restrições nas porcentagens de peso para ativos categorizados como ESG para cada um dos anos estudados. Inicialmente, percebemos que portfólios compostos unicamente por ativos ESG apresentavam uma tendência de terem retornos inferiores ao índice BOVESPA e até mesmo a portfólios compostos unicamente por ativos categorizados como não-ESG, o que sugere uma potencial desvantagem para investidores que focam unicamente nessa estratégia.

Cabe ainda ressaltar o custo advindo do investimento exclusivo em indicadores de sustentabilidade, possuindo não somente resultados inferiores aos demais indicadores comparativos aqui, como também, em certos momentos, trazendo custos mais elevados. Caberia ao investidor, então, tomar como base estes fatores antes de tomar a sua decisão de alocação de capitais. Um investidor consciente de seu papel social, poderia aceitar sofrer maiores perdas financeiras tendo em vista atingir o seu padrão de excelência ambiental, visando ter o melhor impacto possível ao meio-ambiente.

Percebemos, no entanto, que a situação ficou mais complexa ao se adotar abordagens de investimento híbridas, onde uma parte do portfólio necessariamente estaria dedicada a ativos ESG, mas não as demais. Ainda usando técnicas de index tracking, percebemos que em 2019 o portfólio balanceado ideal teria cerca de 50% de seu valor em ativos ESG e observamos uma espessa queda para 25% em 2020, entretanto, vemos também que em 2021 o portfólio ideal seria de 90% de peso para ativos ESG. Estes dados trazem consigo a importância de ajustar a estratégia de investimentos baseado nas tendências do mercado e no comportamento de ativos ESG.

Ademais, quando observamos de perto os dados de 2020 e 2021, percebemos que o portfólio misto com ESG teve um comportamento melhor que o esperado, ultrapassando com frequência o índice BOVESPA, sugerindo que ativos ESG tem um espaço importante em um portfólio bem administrado. Entretanto, cabe

mais uma vez notar que um portfólio com um foco exclusivo em ESG tende a experimentar uma maior volatilidade e vulnerabilidade à quedas do mercado.

Uma estratégia visando a diversificação dos investimentos mostra-se crucial, apesar do crescimento notado da importância de ativos ESG no mercado brasileiro. A dependência unicamente em apenas uma classe de ativos, seja ela ESG ou não, tende a trazer desafios. Trabalhos futuros se beneficiarão de análises usando outras métricas de ESG, bem como técnicas de rebalanceamento de portfólio levando em conta principalmente o status atual de um ativo (ESG ou não) e ainda tentando minimizar os custos advindos do rebalanceamento anual a cada iteração.

Uma das limitações do trabalho aqui exposto se mostra no critério de classificação ESG adotado, uma vez que diversas organizações terão seus critérios para classificar um ativo como ESG ou não, a lista dos ativos selecionados pode vir a ser diferente. Ademais, a carteira ISE da B3, usada por nossa análise, não necessariamente vê-se imune a possíveis casos de greenwashing que tenham vindo a ocorrer. Outra limitação a se notar é a análise dos custos advindo do rebalanceamento anual, bem como da adoção de carteiras com forças diferentes para os ativos ESG a cada um dos anos, o que pode vir a ser menos atrativo para um investidor que o que fora mostrado, enquanto uma pura análise de retorno.

REFERÊNCIAS

SILVA, Julio Cezar Soares; ALMEIDA FILHO, Adiel Teixeira de. A systematic literature review on solution approaches for the index tracking problem. **Ima Journal Of Management Mathematics**, [S.L.], p. 01-34, 17 abr. 2023. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/imaman/dpad007>. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-systematic-literature-review-on-solution-for-the-Silva-Filho/c6be441b7a32fcc29095da27f7a2971256fb49f3#extracted>. Acesso em: 22 ago. 2023.

HAN, Chuan-Hsiang; WANG, Kun. Stressed portfolio optimization with semiparametric method. **Financial Innovation**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-34, 14 mar. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40854-022-00333-w>. Disponível em: <https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-022-00333-w>. Acesso em: 22 set. 2023.

KOLM, Petter N.; TÜTÜNCÜ, Reha; FABOZZI, Frank J.. 60 Years of portfolio optimization: practical challenges and current trends. **European Journal Of Operational Research**, [S.L.], v. 234, n. 2, p. 356-371, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.060>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221713008898?via%3Dihub>. Acesso em: 22 ago. 2023

RUIZ-TORRUBIANO, Rubén; SUÁREZ, Alberto. A hybrid optimization approach to index tracking. **Annals Of Operations Research**, [S.L.], v. 166, n. 1, p. 57-71, 5 ago. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-008-0404-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-008-0404-4>. Acesso em: 22 ago. 2023.

SILVA, Julio Cezar Soares; ALMEIDA FILHO, Adiel Teixeira de. Using GAN-generated market simulations to guide genetic algorithms in index tracking optimization. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 145, n. 0, p. 110587-110587, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110587>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494623006051?via%3Dihub>. Acesso em: 22 ago. 2023

GARCÍA *et al.* Selecting Socially Responsible Portfolios: a fuzzy multicriteria approach. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 2496-2510, 28 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11092496>.

KHAN, Muhammad Arif. ESG disclosure and Firm performance: a bibliometric and meta analysis. **Research In International Business And Finance**, [S.L.], v. 61, n. 0, p. 101668-101687, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101668>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0275531922000563?via%3Dihub>. Acesso em: 22 ago. 2023.

B3 - Brasil, Bolsa, Balcão. [S.I.]: Índice Bovespa, [s.d.]. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/ibovespa.htm. Acesso em: 22 ago. 2023.

B3 - Brasil, Bolsa, Balcão. [S.I.]: ISE B3 [s.d.]. Disponível em: <https://iseb3.com.br/o-que-e-o-ise>. Acesso em: 22 ago. 2023.

B3 - Brasil, Bolsa, Balcão. [S.I.]: ISE B3 [s.d.]. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise-b3.htm. Acesso em: 22 ago. 2023.

PAVLOVA, Ivelina; BOYRIE, Maria E. de. ESG ETFs and the COVID-19 stock market crash of 2020: did clean funds fare better?. **Finance Research Letters**, [S.L.], v. 44, n. 0, p. 102051-102057, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.frl.2021.102051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S154461232100132X?via%3Dihub>. Acesso em: 22 ago. 2023

YADAV, Sanjay *et al.* A multi-objective sustainable financial portfolio selection approach under an intuitionistic fuzzy framework. **Information Sciences**, [S.L.], v. 646, n. 0, p. 119379-119407, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2023.119379>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025523009647?via%3Dihub>. Acesso em: 22 ago. 2023.

BEASLEY, J.e.; MEADE, N.; CHANG, T.-J.. An evolutionary heuristic for the index tracking problem. **European Journal Of Operational Research**, [S.L.], v. 148, n. 3, p. 621-643, ago. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217\(02\)00425-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217(02)00425-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221702004253>. Acesso em: 22 ago. 2023.

PETERSON, Brian G. *et al.* R Package. October 12, 2022. Disponível em: [\[https://github.com/braverock/PerformanceAnalytics\]](https://github.com/braverock/PerformanceAnalytics). Acesso em: 22 ago. 2023

GOODWIN, Thomas H.. The Information Ratio. **Financial Analysts Journal**, [S.L.], v. 54, n. 4, p. 34-43, jul. 1998. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.2469/faj.v54.n4.2196>. Disponível em: <https://tsgperformance.com/wp-content/uploads/2020/11/Goodwin-information-ratio.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023

UNFCCC (França). The Paris Agreement. 2018. Policies and measures. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/184656>. Acesso em: 28 nov. 2018.

OECD. ESG Investing and Climate Transition: Market Practices. Issues and Policy Considerations. 2023. Disponível em: <https://www.oecd.org/finance/ESG-investing-and-climatetransition-Market-practices-issues-and-policy-considerations.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

ZHU, Naiping *et al.* Tax incentives and environmental, social, and governance performance: empirical evidence from china. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 30, n. 19, p. 54899-54913, 7 mar. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-26112-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-26112-3>. Acesso em: 22 ago. 2023

IBM. IBM CPLEX Optimization Studio 12.9.0 Documentation: IBM ILOG CPLEX Modeling for Python. 2021. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/en/icos/12.9.0?topic=docplex-python-modeling-api>. Acesso em: 28 ago. 2023.

BRUNI, Renato *et al.* A linear risk-return model for enhanced indexation in portfolio optimization. **Or Spectrum**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 735-759, 25 nov. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00291-014-0383-6>.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio Selection. **The Journal Of Finance**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 77-91, mar. 1952. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2975974>. Disponível em: https://www.math.hkust.edu.hk/~maykwok/courses/ma362/07F/markowitz_JF.pdf. Acesso em: 22 ago. 2023.

LIAGKOURAS, K.; METAXIOTIS, K.; TSIHRINTZIS, G.. Incorporating environmental and social considerations into the portfolio optimization process. **Annals Of Operations Research**, [S.L.], v. 316, n. 2, p. 1493-1518, 2 mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-020-03554-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-020-03554-3>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LING, Aifan *et al.* When trackers are aware of ESG: do esg ratings matter to tracking error portfolio performance?. **Economic Modelling**, [S.L.], v. 125, p. 106346-106361, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2023.106346>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026499932300158X?via%3Di> hub. Acesso em: 22 ago. 2023.

AMORIM, Thiago Wanderley de; SILVA, Julio Cezar Soares; ALMEIDA FILHO, Adiel Teixeira de. Evaluation of Index Tracking Portfolios During the COVID-19 Pandemic. **2021 Ieee Congress On Evolutionary Computation (Cec)**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 1569-1576, 28 jun. 2021. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/cec45853.2021.9504828>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9504828>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LA TORRE, Jordi de. Redes Generativas Adversarias (GAN) Fundamentos Teóricos y Aplicaciones. **Arxiv**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 1-14, fev. 2023. ArXiv. <http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.2302.09346>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2302.09346>. Acesso em: 22 ago. 2023.\

FABOZZI, Frank J. *et al.* **Robust Portfolio Optimization and Management**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. (The Frank J. Fabozzi Series). Disponível em: https://cims.nyu.edu/~kolm/images/stories/books/robust_portfolio_optimization_and_management_-_frontmatter.pdf. Acesso em: 23 ago. 2023.

Bloomberg. (n.d.). ESG Data. Bloomberg Professional. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/professional/product/esg-data/>. Acesso em: 28 ago. 2023

ISE B3. (2023). Carteiras e Questionários. Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). Disponível em: <https://iseb3.com.br/carteiras-e-questionarios/>. Acesso em: 28 ago. 2023.

NETTO, Sebastião Vieira de Freitas *et al.* Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. **Environmental Sciences Europe**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 19-31, 11 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3>. Disponível em: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-020-0300-3>. Acesso em: 25 set. 2023.

GANZ, Alyne C. S.; SCHLOTEFELDT, Josiane O.; RODRIGUES JUNIOR, Moacir M.. CORPORATE GOVERNANCE AND CAPITAL ASSET PRICING MODELS. **Ram. Revista de Administração Mackenzie**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 1-27, fev. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-6971/eramf200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ram/a/ZQz4ZcByzV4pSbskhB5D8MN/?lang=en#>. Acesso em: 25 set. 2023.