



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB)
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS (CCSA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO (PPGA)

LUIZ EDUARDO RODRIGUES FREITAS DA SILVA

**PRÊMIO DE RISCO CARBONO NO MERCADO BRASILEIRO: UMA ANÁLISE EMPÍRICA
ENTRE EMISSÕES DE CO₂ E RETORNO ACIONÁRIO NA B3**

João Pessoa
2025



LUIZ EDUARDO RODRIGUES FREITAS DA SILVA

**PRÊMIO DE RISCO CARBONO NO MERCADO BRASILEIRO: UMA ANÁLISE EMPÍRICA
ENTRE EMISSÕES DE CO₂ E RETORNO ACIONÁRIO NA B3**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Linha de Pesquisa: Estratégia, Finanças e Desempenho.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Pilar da Silva Júnior

João Pessoa

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586p Silva, Luiz Eduardo Rodrigues Freitas da.
Prêmio de risco carbono no mercado brasileiro : uma
análise empírica entre emissões de CO₂ e retorno
acionário na B3 / Luiz Eduardo Rodrigues Freitas da
Silva. - João Pessoa, 2025.
99 f. : il.

Orientação: Cláudio Pilar da Silva Júnior.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCSA.

1. Retorno acionário. 2. Prêmio de risco carbono. 3.
Risco climático. 4. IC02. I. Júnior, Cláudio Pilar da
Silva. II. Título.

UFPB/BC

CDU 336.76(043)

Luiz Eduardo Rodrigues Freitas da Silva

**PRÊMIO DE RISCO CARBONO NO MERCADO BRASILEIRO: UMA ANÁLISE EMPÍRICA
ENTRE EMISSÕES DE CO2 E RETORNO ACIONÁRIO NA B3**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba.

Área de Concentração: Administração e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Estratégia, Finanças e Desempenho.

Dissertação aprovada em: 17 / 12 / 2025

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CLAUDIO PILAR DA SILVA JUNIOR**
Data: 17/12/2025 21:55:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cláudio Pilar da Silva Júnior
Orientador - PPGA/UFPB

Documento assinado digitalmente
 **ALDO LEONARDO CUNHA CALLADO**
Data: 17/12/2025 15:55:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Aldo Leonardo Cunha Callado
Examinador Interno – PPGA/UFPB

Documento assinado digitalmente
 **NILTON CESAR LIMA**
Data: 17/12/2025 15:47:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Nilton César Lima
Examinador Externo – UFU

RESUMO

As mudanças climáticas e a crescente pressão por práticas empresariais sustentáveis têm impulsionado o debate sobre os impactos das emissões de carbono no desempenho financeiro das organizações. Nesse contexto, este estudo investiga a existência de um prêmio de risco carbono no mercado acionário brasileiro, analisando se empresas com maiores níveis de emissão de gases de efeito estufa (GEE) apresentam retornos superiores em relação a empresas menos poluentes. Para isso, foram construídas carteiras de ações com base nas emissões totais e na intensidade de emissões de carbono, bem como na participação das empresas no Índice Carbono Eficiente (ICO2) da B3. A metodologia adotada inclui modelos econométricos de dados em painel e testes estatísticos para avaliar a significância das diferenças de retorno entre os grupos analisados. Os resultados obtidos sinalizaram um estágio incipiente do mercado brasileiro na precificação do risco carbono, no qual foi detectada uma relação quase nula entre retorno e emissões, rejeitando-se H_1 . Em relação a H_2 , ao analisar as carteiras compostas por um spread ajustado ao tamanho, verifica-se que, apenas a diferença entre as carteiras SBI - SGI apresentou significância estatística. Já ao analisar os resultados das carteiras compostas por um spread simples, somente a diferença entre as carteiras BI - GI, apresentou significância estatística, diante disso a H_2 foi confirmada parcialmente. Por fim, a verificação da influência que a participação no ICO2 pode gerar no retorno acionário, apresentou resultados não significantes entre as diferenças de desempenho das empresas participantes em comparação às não-participantes do ICO2, rejeitando-se H_3 . Em síntese, os achados sugerem que o mercado acionário brasileiro reconhece o carbono como fator de risco, mas ainda em fase inicial de incorporação nos preços dos ativos. Esse resultado aponta para um espaço de amadurecimento, no qual investidores e reguladores poderão desempenhar papel decisivo na consolidação da precificação do risco climático.

Palavras-chave: Risco climático. Retorno acionário. Prêmio de risco carbono. ICO2.

ABSTRACT

Climate change and the growing pressure for sustainable business practices have intensified the debate on the impacts of carbon emissions on the financial performance of organizations. In this context, this study investigates the existence of a carbon risk premium in the Brazilian stock market, analyzing whether companies with higher levels of greenhouse gas (GHG) emissions achieve superior returns compared to less polluting firms. To this end, portfolios of stocks were constructed based on total emissions, carbon emission intensity, and companies' participation in the Carbon Efficient Index (ICO2) of B3. The methodology employed included panel data econometric models and statistical tests to assess the significance of return differences among the groups analyzed. The results indicate an incipient stage of carbon risk pricing in the Brazilian market. Hypothesis H_1 was rejected, as a nearly null relationship between returns and emissions was detected. Regarding H_2 , only certain differences between portfolios showed statistical significance, thus partially confirming the hypothesis. Finally, H_3 , which evaluated the impact of ICO2 participation on stock returns, was rejected, since no significant differences in performance were observed between participating and non-participating companies. In summary, the findings suggest that the Brazilian stock market acknowledges carbon as a risk factor, though still at an early stage of incorporation into asset prices. This outcome highlights a space for further development, in which investors and regulators may play a decisive role in consolidating the pricing of climate risk.

Keywords: Climate risk. Stock returns. Carbon risk premium. ICO2.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Cláudio Pilar, por ter me incentivado a ingressar no mestrado e pelo apoio ao longo da construção deste trabalho.

Ao Professor Brivaldo Marinho, pelos ensinamentos e supervisão durante o estágio docência.

Aos Professores Aldo Callado e Nilton Lima, por aceitarem participar da banca e pelas contribuições que me ajudaram a enriquecer este trabalho.

Aos Professores do PPGA, por todos os ensinamentos que me ajudaram a crescer intelectualmente e amadurecer como indivíduo.

À Cláudia Monteiro, por ter me permitido conciliar as aulas com o trabalho.

À minha mãe, por sempre acreditar em mim e me incentivar na minha busca constante por conhecimento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Escopos e fontes de emissões definidos pelo protocolo GHG.....	11
Figura 2	Funcionamento do mercado de carbono.....	24
Figura 3	Formação das carteiras baseadas no spread ajustado ao tamanho.....	39
Figura 4	Formação das carteiras baseadas em quintis e spread simples.....	41
Figura 5	Formação das carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.....	42
Figura 6	Dispersão das variáveis.....	48
Figura 7	Desempenho mensal das carteiras baseadas em tercis e spread ajustado ao tamanho.....	59
Figura 8	Desempenho mensal das carteiras baseadas em quintis e spread simples.....	65
Figura 9	Desempenho das carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.....	71
Quadro 1	Carteiras baseadas em tercis e spread ajustado ao tamanho.....	39
Quadro 2	Carteiras baseadas em quintis e spread simples.....	41
Quadro 3	Carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.....	42
Quadro 4	Desempenho mensal das carteiras baseadas em tercis e spread ajustado ao tamanho.....	57
Quadro 5	Desempenho mensal das carteiras baseadas em quintis e spread simples.....	63
Quadro 6	Desempenho mensal das carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estatísticas descritivas das variáveis do estudo após a winsorização.....	46
Tabela 2	Correlação entre as variáveis do modelo.....	47
Tabela 3	Testes de especificação do modelo.....	49
Tabela 4	Resultados das regressões em painel com erros robustos.....	51
Tabela 5	Resultados do teste de Shapiro-Wilk - Portfólio 1.....	60
Tabela 6	Resultados do teste-T - Portfólio 1.....	60
Tabela 7	Resultados do teste de Shapiro-Wilk - Portfólio 2.....	66
Tabela 8	Resultados do teste Mann-Whitney U e teste-T - Portfólio 2.....	66
Tabela 9	Resultados do teste de Shapiro-Wilk - Portfólio 3.....	71
Tabela 10	Resultados do teste-T - Portfólio 3.....	72
Tabela 11	Amostra utilizada no estudo.....	85
Tabela 12	Composição das carteiras formadas por tercis e spread ajustado ao tamanho..	89
Tabela 13	Composição das carteiras formadas por quintis e spread simples.....	93
Tabela 14	Composição das carteiras formadas pela participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B3	Brasil, Bolsa, Balcão
CBEs	Créditos de Emissões
CO ₂	Dióxido de Carbono
GEE	Gases do Efeito Estufa
GHG	Greenhouse Gases
ICO2	Índice Carbono Eficiente
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Gases de Efeito Estufa
tCO ₂ e	Toneladas de CO ₂ equivalente
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	10
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.1 Objetivos Específicos.....	13
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 TEORIA DOS STAKEHOLDERS E SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL.....	16
2.2 EMISSÕES DE CARBONO E RETORNO ACIONÁRIO.....	19
2.3 PRÊMIO DE RISCO CARBONO.....	22
2.4 ÍNDICES DESCARBONIZADOS - ICO2.....	28
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1 POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	32
3.2 MÉTODO ECONOMETRICO.....	33
3.3 MODELO DE REGRESSÃO.....	34
3.4 SELEÇÃO DO MODELO ECONOMETRICO.....	35
3.5 VALIDAÇÃO DO MODELO ECONOMETRICO.....	37
3.6 MENSURAÇÃO DO PRÊMIO DE RISCO CARBONO.....	37
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	45
4.2 RESULTADOS DA MODELAGEM ECONOMETRICA.....	49
4.3 DIAGNÓSTICOS E AJUSTE DE ROBUSTEZ.....	50
4.4 RESULTADOS DO MODELO POOLED OLS APÓS CORREÇÃO.....	51
5. PRÊMIO DE RISCO CARBONO COM BASE NO DESEMPENHO DAS CARTEIRAS... 56	56
5.1 DESEMPENHO DAS CARTEIRAS FORMADAS EM TERCIS.....	57
5.2 DESEMPENHO DAS CARTEIRAS FORMADAS EM QUINTIS.....	62
5.3 DESEMPENHO DAS CARTEIRAS COM BASE NA PARTICIPAÇÃO NO ICO2.....	67
6. CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE A.....	85
APÊNDICE B.....	89
APÊNDICE C.....	93
APÊNDICE D.....	96

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar uma contextualização do tema abordado na dissertação, bem como o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos e sua justificativa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

As mudanças climáticas tornaram-se uma preocupação central no cenário global. As ações humanas têm alterado a dinâmica climática do planeta, cujos efeitos negativos já são perceptíveis na sociedade atual e levantam preocupações quanto aos riscos para as gerações futuras.

Dentro das interferências humanas que ocasionam as alterações climáticas, destacam-se as emissões dos gases de efeito estufa. Elas são responsáveis pelo aumento dos níveis de temperatura do planeta, ocasionando elevação no nível dos oceanos, maiores períodos de secas e ocorrência de diversos desastres naturais.

No final do século passado, houve um aumento da preocupação com as questões ambientais. Diversas conferências foram realizadas para discussões voltadas ao tema, dentre essas conferências, destaca-se a assinatura do protocolo de Kyoto em 1997. Esse protocolo teve como objetivo a redução das emissões dos gases de efeito estufa, sendo assinado por 84 países, incluindo o Brasil, definindo metas para a redução das emissões e estimulando medidas para um desenvolvimento sustentável (Protocolo de Kyoto, 1997).

Na continuidade dos esforços internacionais para lidar com as mudanças climáticas, em 2015, foi assinado por 195 países o acordo de Paris, que teve como objetivo principal limitar o aumento da temperatura média global a 2°C acima dos níveis pré-industriais. E também criar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais por meio de implementação de ações para redução das emissões de gases de efeito estufa (UNFCCC, 2015).

Para quantificar e monitorar as emissões corporativas, o Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol) propõe sua classificação em três escopos conforme apresentado na Figura 1. O escopo 1 é voltado para as emissões diretas da produção, já o escopo 2 monitora as emissões indiretas do consumo de energia elétrica, por fim o escopo 3 quantifica emissões indiretas de transporte e produção de bens adquiridos, descarte de resíduos e atividades terceirizadas (Bolton & Kacperczyk, 2021a).

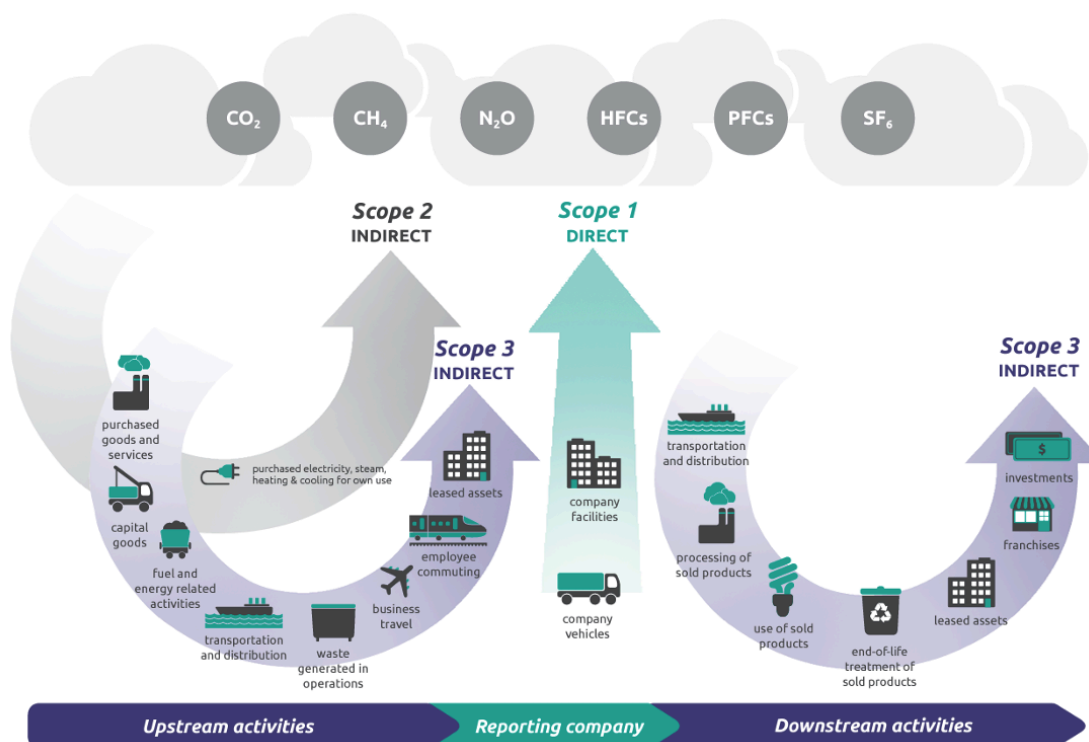


Figura 1. Escopos e fontes de emissões definidos pelo protocolo GHG

Fonte: Zhang (2022).

Com a crescente preocupação com os impactos gerados pelas mudanças climáticas, as organizações passaram a quantificar esse risco e analisar seus impactos no desempenho financeiro. Nesse contexto, a intensidade das emissões de carbono e de outros gases de efeito estufa tem sido amplamente utilizada como métrica de impacto ambiental (Barberà-Mariné et al., 2023).

Diante da crescente exposição de empresas e investidores aos riscos climáticos, surge o conceito de prêmio de risco carbono. Tal risco, representa a necessidade de empresas com altas emissões de gases de efeito estufa oferecerem retornos superiores para compensar os investidores pelo risco regulatório e de transição associados a políticas ambientais mais restritivas (Bolton & Kacperczyk, 2021a; Zhang, 2022).

Esse prêmio reflete a menor demanda por ações de empresas poluentes, resultando na redução de seus preços de mercado. Além disso, o risco carbono está ligado à incerteza sobre os fluxos de caixa futuros, provocada pela volatilidade no preço das licenças de emissão, cuja variação pode ser intensificada por eventos climáticos extremos (Oestreich & Tsiakas, 2015).

Nesse contexto, a divulgação das emissões de carbono passou a ser um aspecto importante na tomada de decisão dos investidores, pois a ausência de informações confiáveis não permitiria a precificação correta do risco carbono. Tal divulgação é

incentivada pelo desejo das empresas em apresentar uma imagem socialmente responsável, criando uma percepção social positiva acerca do seu impacto ambiental (Bolton & Kacperczyk, 2021c).

Diante da divulgação dos impactos ambientais gerados pelas organizações, elas podem ser classificadas como “verdes” ou “marrons”, conforme o potencial poluidor de suas atividades. As empresas “verdes” geram externalidades positivas para a sociedade, já as empresas “marrons” geram externalidades negativas, considerando os aspectos ESG das organizações (Pastor et al., 2021).

Bauer et al. (2022) definem as empresas “verdes” como aquelas consideradas mais sustentáveis ambientalmente e com melhores posicionamentos e maior capacidade de adaptação em um mundo de baixo carbono, devido às suas menores emissões de CO₂. Já as empresas “marrons” enfrentam maiores riscos financeiros devido a seus níveis de emissões de carbono, estando sujeitas a um elevado risco de serem impactadas por políticas regulatórias e aumentos futuros nos preços do carbono, gerando uma desvalorização dos seus ativos.

Apesar da busca por organizações sustentáveis, os investidores não deixam de exigir retornos positivos sobre os seus investimentos. Trazendo à tona a discussão sobre a relação entre práticas sustentáveis e desempenho financeiro (Martínez-Ferrero & Frías-Aceituno, 2015).

No cenário brasileiro, os investidores têm buscado organizações consideradas socialmente responsáveis, sustentáveis e rentáveis no momento da escolha de um investimento (Gomes & Tortato, 2011). Em 2010 foi criado o índice de carbono eficiente (ICO2) pela bolsa de valores brasileira (B3), tendo como principal objetivo ser uma ferramenta de discussão e avaliação do impacto das emissões de carbono no desempenho financeiro das organizações.

Uma linha de investigação recente na literatura internacional (Hsu et al., 2022, Bolton & Kacperczyk, 2021a e Bolton & Kacperczyk, 2021c, Cheema-Fox et al. 2021, Pastor et al. 2022), buscou analisar a existência de relação entre as emissões de carbono e o retorno acionário. Tal fato deve-se à criação de índices sustentáveis em diversas bolsas do planeta e pela implementação dos mercados de carbono, com destaque para os Estados Unidos e Europa.

O impacto das emissões de CO₂ sobre o retorno acionário pode ser analisado por diferentes perspectivas. De um lado, as emissões estão ligadas ao uso de combustíveis fósseis, tornando os retornos sensíveis às oscilações nos preços de energia e commodities. Além disso, empresas intensivas em carbono estão mais expostas ao risco de regulações e precificação do carbono, elevando seu custo de capital (Bolton & Kacperczyk, 2021a).

A literatura oferece duas interpretações principais para os efeitos desse risco: uma baseada na exposição regulatória, que penaliza financeiramente empresas poluentes, e outra centrada nas preferências dos investidores, segundo a qual ações de empresas emissoras seriam evitadas e, por isso, tenderiam a ser subvalorizadas e potencialmente mais rentáveis (Hong & Kacperczyk, 2009; Pedersen et al., 2021).

Apesar das discussões sobre o risco carbono serem um tema de discussão recorrente na literatura internacional, observamos uma lacuna de pesquisas sobre o tema no contexto brasileiro. Diante da promulgação da Lei n.º 15.042 que institui a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), se faz necessário uma maior compreensão sobre a precificação do risco climático no mercado brasileiro e identificar em qual estágio de maturidade o Brasil se encontra acerca do tema.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Diante do contexto analisado, o presente estudo busca investigar a relação entre as emissões de carbono e o retorno acionário das empresas listadas na B3. Nesse sentido, o presente estudo teve como problema de pesquisa a seguinte questão: **Como a relação entre emissões de CO₂ e retornos acionários se manifesta no mercado acionário brasileiro entre 2019 e 2024, à luz da hipótese de existência de um prêmio de risco carbono?**

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar de que forma as emissões de carbono estão associadas aos retornos acionários das empresas listadas na B3, no período de 2019 a 2024, considerando a hipótese de existência de um prêmio de risco carbono no mercado acionário brasileiro.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Construir carteiras de ações com base nas emissões totais e na intensidade de emissões de carbono das empresas listadas na B3, classificando-as em grupos “verdes” e “marrons”;
- Analisar a relação entre as emissões de carbono e o retorno acionário das empresas listadas na B3;

- Comparar o retorno acionário das empresas integrantes do Índice Carbono Eficiente (ICO2) em relação às não participantes.

1.4 JUSTIFICATIVA

A promulgação da Lei n.º 15.042, em 12 de dezembro de 2024, que institui a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), traz à tona um novo cenário institucional que impõe desafios e oportunidades tanto para empresas quanto para investidores. Nesse contexto, emergem questionamentos relevantes sobre os potenciais impactos das emissões de CO₂ no desempenho financeiro das empresas brasileiras e consequentemente nos retornos das carteiras de investimentos.

O SBCE terá como diretriz os seguintes princípios: compatibilidade e articulação entre o SBCE e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seus instrumentos, com particular atenção aos compromissos assumidos pelo Brasil nos regimes multilaterais sobre mudança do clima; redução de emissões e remoção de GEE nacionais de forma justa e custo efetiva, com vistas a promover o desenvolvimento sustentável e a equidade climática (Lei n.º 15.042, 2024).

O Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) será implementado em fases. A fase I consiste em um período de 12 meses, prorrogável por mais 12 meses, destinado à edição da regulamentação da lei, contado a partir de sua entrada em vigor. A fase II terá duração de 1 ano e será voltada para a operacionalização, pelos operadores, dos instrumentos para relato de emissões. Na fase III, com duração de 2 anos, os operadores estarão sujeitos somente ao dever de submissão do plano de monitoramento e de apresentação de relatos de emissões e remoções de gases de efeito estufa ao órgão gestor do SBCE. A fase IV corresponde à vigência do primeiro Plano Nacional de Alocação, com distribuição não onerosa de Créditos de Emissões (CBEs) e implementação do mercado de ativos do SBCE. Por fim, a fase V representa a implementação plena do SBCE, ao término da vigência do primeiro Plano Nacional de Alocação (Lei n.º 15.042, 2024).

Oestreich e Tsiakas (2015) argumentam que companhias com elevados níveis de emissões estão mais expostas ao chamado “risco carbono”, uma vez que enfrentam maior incerteza quanto à precificação futura das permissões de emissão. Comprometendo a previsibilidade dos fluxos de caixa e aumentar a percepção de risco entre os investidores.

Como resposta a essa nova dimensão de risco climático, têm ganhado relevância os índices de baixo carbono, os quais buscam mitigar a exposição das carteiras de investimentos às emissões de gases de efeito estufa sem comprometer os retornos financeiros. Nesse sentido, Andersson et al. (2016) destacam que tais índices se

consolidam globalmente como ferramentas eficazes de gestão de risco, sendo o Índice Carbono Eficiente (ICO2), no Brasil, um exemplo notável dessa iniciativa no contexto doméstico.

Embora a literatura acadêmica brasileira apresente uma gama de estudos sobre a relação entre sustentabilidade e desempenho financeiro, com ênfase na performance do ICO2 em comparação com outros índices da B3, observa-se uma lacuna específica quanto à investigação da existência do “prêmio de risco carbono” no mercado brasileiro. Poucos estudos exploram, de forma empírica, a relação direta entre as emissões de carbono (tCO₂e) e os retornos acionários das empresas, evidenciando a necessidade de aprofundamento teórico e metodológico sobre o tema.

O risco climático, antes considerado um tema de menor importância nas organizações, passou a influenciar decisões de alocação de capital, sobretudo diante da intensificação das políticas de precificação do carbono e da crescente pressão por práticas sustentáveis. Em contextos de elevada incerteza, como o de mercados emergentes, esse tipo de risco tende a ser mais sensível à percepção dos agentes financeiros.

Li et al. (2023) argumentam que o risco associado às emissões de carbono é mais fortemente percebido e precificado pelos investidores em ambientes marcados por altos níveis de volatilidade, condição que frequentemente caracteriza o mercado acionário brasileiro. Nesses cenários, ativos de empresas com uma maior pegada de carbono podem sofrer penalizações mais intensas, refletindo um prêmio de risco carbono que incorpora tanto aspectos regulatórios quanto preferências dos investidores por ativos ambientalmente responsáveis.

Dessa forma, a presente pesquisa justifica-se pela relevância em compreender como as emissões de gases de efeito estufa impactam o desempenho financeiro das empresas brasileiras e também compreender em qual estágio o mercado brasileiro se encontra em relação à precificação do risco carbono, fornecendo subsídios para verificação futura do impacto das emissões sobre os ativos, após a implementação integral do SBCE. Ao fornecer evidências empíricas sobre esse fenômeno, o estudo busca oferecer subsídios para gestores na formulação de estratégias corporativas e para investidores na tomada de decisões mais informadas e alinhadas às novas exigências regulatórias e ambientais.

Além disso, este trabalho pretende contribuir para o avanço da literatura em finanças sustentáveis, ampliando o debate sobre os efeitos econômicos das mudanças climáticas e sobre como a precificação das emissões de carbono pode influenciar na precificação de ativos em contextos emergentes, como o brasileiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEORIA DOS STAKEHOLDERS E SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL

A teoria dos stakeholders representa uma das mais relevantes reformulações do pensamento estratégico na administração contemporânea. Sistematizada por R. Edward Freeman na década de 1980, essa abordagem surgiu em resposta à crescente complexidade do ambiente empresarial e à diversidade de interesses que afetam as organizações (Freeman & McVea, 2001). Ao deslocar o foco exclusivo na maximização do lucro dos acionistas para a consideração de múltiplos grupos de interesse, a teoria amplia o escopo da gestão estratégica ao reconhecer que as empresas são simultaneamente influenciadas e influenciam uma variedade de agentes internos e externos (Freeman, 1984).

Freeman e McVea (2001) definem stakeholders como “qualquer grupo ou indivíduo que possa afetar ou ser afetado pela realização dos objetivos da organização” (p. 5). Essa definição rompe com os paradigmas tradicionais ao colocar a gestão das relações com empregados, clientes, fornecedores, comunidades e governos no centro da estratégia organizacional. A formulação estratégica, nesse contexto, deixa de ser uma atividade centrada somente em análises de mercado e projeções ambientais, passando a envolver a constante mediação de interesses diversos, muitas vezes conflitantes.

Consequentemente, a gestão deixa de buscar exclusivamente a maximização dos lucros e passa a perseguir um equilíbrio dinâmico entre os diferentes stakeholders, em um processo contínuo de negociação e adaptação (Freeman & McVea, 2001). A teoria dos stakeholders não apenas descreve como as organizações operam na prática, mas também propõe uma abordagem mais abrangente e responsável, capaz de gerar desempenho superior no longo prazo.

Essa perspectiva aproxima a teoria de uma visão pragmática da estratégia, na qual o diálogo com os públicos envolvidos e o conhecimento situacional são fundamentais para a formulação de soluções sustentáveis. Para Freeman e McVea (2001), organizações bem-sucedidas são aquelas capazes de alinhar seus objetivos econômicos com os valores compartilhados por seus stakeholders, reforçando a ideia de que valores e valor econômico são indissociáveis.

Além de se contrapor aos modelos tradicionais de gestão, essa abordagem oferece uma alternativa eficaz para lidar com a crescente complexidade das interações organizacionais, integrando dimensões econômicas, políticas e éticas. Com isso, a teoria contribui para o desenvolvimento de estratégias mais inclusivas, legítimas e adaptáveis em contextos de incerteza.

As discussões sobre responsabilidade social corporativa também contribuíram para ampliar a compreensão sobre o impacto das organizações, incorporando grupos e interesses antes negligenciados, como o meio ambiente. Embora inicialmente voltada a públicos com vínculos diretos com a empresa, a teoria passou a considerar o meio ambiente como stakeholder legítimo, com base em princípios de equidade, justiça e legitimidade moral (Freeman & McVea, 2001).

Phillips e Reichart (1998) argumentam que mesmo stakeholders sem representação formal ou poder de barganha, como o meio ambiente, devem ser reconhecidos pela gestão, já que suas demandas são diretamente impactadas pelas atividades empresariais. Essa ampliação da perspectiva estratégica reflete uma maior consciência de que a sustentabilidade está diretamente relacionada à longevidade econômica e institucional das organizações (Freeman & McVea, 2001; Elkington, 1997).

Mais do que uma postura de mitigação de danos, a inclusão do meio ambiente como stakeholder exige engajamento proativo, baseado em inovação ecológica e na geração de valor ambiental. Essa concepção se alinha à ideia de criação de valor compartilhado, proposta por Porter e Kramer (2011), e à noção de competências sustentáveis introduzida por Hart (1995), segundo a qual a capacidade de inovar com responsabilidade ambiental pode representar uma vantagem competitiva sustentável.

Sob essa ótica, a preservação ambiental não deve ser vista como um custo marginal ou obrigação legal, mas como parte essencial da estratégia organizacional. A incorporação de métricas ambientais, critérios ecológicos nas decisões e o diálogo com atores socioambientais tornam-se elementos-chave para uma gestão robusta e orientada ao longo prazo (Elkington, 1997; Freeman & McVea, 2001).

Para Freeman e McVea (2001), a gestão integrada de múltiplos interesses é essencial ao sucesso organizacional. Ignorar os impactos ambientais, especialmente em um contexto de escassez de recursos, mudanças climáticas e crescente demanda por responsabilidade corporativa, pode comprometer não apenas a legitimidade social da empresa, mas também sua viabilidade operacional.

A teoria dos stakeholders parte da premissa de que o desempenho econômico está diretamente relacionado à qualidade das relações que a empresa mantém com seus públicos de interesse. Organizações que constroem relações de confiança, cooperação e alinhamento com seus stakeholders tendem a conquistar maior legitimidade social, reputação positiva e melhores condições de atrair investimentos e fidelizar clientes (Freeman & McVea, 2001; Elkington, 1997).

Essa perspectiva instrumental sustenta que práticas éticas e responsáveis não são apenas desejáveis do ponto de vista moral, mas também constituem fonte de vantagem competitiva. Jones (1995) argumenta que relações baseadas em confiança e cooperação

reduzem a necessidade de contratos rígidos e controles formais, aumentando a eficiência operacional e o desempenho financeiro. Assim, a gestão de stakeholders se consolida como um recurso estratégico diante de ambientes marcados por incerteza e alta complexidade.

A sociedade também impõe expectativas éticas sobre as organizações. Segundo Sousa e Almeida (2006), comportamentos irresponsáveis podem gerar perda de credibilidade, repercussão negativa na mídia e impactos adversos no valor de mercado da empresa. No Brasil, os desastres ambientais de Brumadinho e Maceió evidenciam como práticas empresariais negligentes podem comprometer a reputação e a sustentabilidade das organizações.

A literatura recente tem buscado integrar a teoria dos stakeholders aos modelos de precificação de ativos, demonstrando que a forma como as empresas gerenciam seus relacionamentos influencia diretamente sua avaliação no mercado financeiro. De acordo com Huang (2022), práticas de engajamento de stakeholders associadas a fatores ambientais, sociais e de governança (ESG) podem reduzir custos de capital e melhorar a percepção de valor da firma, seja pelo mecanismo de sinalização ao mercado, seja pelo fortalecimento de recursos intangíveis que funcionam como amortecedores de risco. Nesse sentido, empresas que cultivam relações sólidas com stakeholders estratégicos apresentam menores prêmios de risco e, conseqüentemente, maior valorização de mercado, já que os investidores internalizam os benefícios de uma gestão orientada à mitigação de riscos não diversificáveis.

Sob a ótica da precificação de ativos baseada em risco, a gestão eficaz de stakeholders é percebida pelos investidores como uma estratégia que diminui a probabilidade de eventos adversos como litígios, conflitos trabalhistas ou perdas reputacionais os quais podem comprometer fluxos de caixa futuros. Isso implica que organizações negligentes em relação à stakeholders tendem a ser penalizadas pelo mercado, enfrentando maior custo de capital e exigências de retorno mais elevadas. Evidências recentes sugerem que empresas com políticas consistentes de responsabilidade socioambiental e governança exibem retornos ajustados ao risco significativamente diferentes em comparação àquelas que não consideram tais dimensões, reforçando o papel da teoria dos stakeholders como lente complementar para compreender anomalias financeiras.

Dessa forma, a integração entre a teoria dos stakeholders e a precificação de ativos amplia o escopo da moderna teoria financeira. Conforme sintetizam Parmar et al. (2010), stakeholders não apenas moldam o ambiente estratégico das firmas, mas também afetam diretamente sua legitimidade, reputação e capacidade de sustentar retornos de longo prazo. Assim, o valor de mercado das empresas deve ser entendido como resultado não apenas

de fatores econômicos e contratuais tradicionais, mas também da qualidade das relações com grupos de interesse, dimensão cada vez mais relevante no funcionamento dos mercados de capitais contemporâneos.

Nesse contexto, os investidores brasileiros têm buscado empresas que conciliem responsabilidade social, sustentabilidade e rentabilidade (Gomes & Tortato, 2011). No entanto, a exigência por retornos financeiros permanece central, reabrindo o debate sobre a relação entre práticas sustentáveis e desempenho econômico (Martínez-Ferrero & Frías-Aceituno, 2015). Estudos como o de Ortega et al. (2016) demonstram que o atendimento às expectativas dos stakeholders pode, de fato, representar uma vantagem competitiva relevante.

Por fim, a sustentabilidade empresarial emerge como uma nova lógica de gestão, promovendo o uso responsável dos recursos naturais e o compromisso com a mitigação de impactos sociais (de Souza et al., 2019). Essa abordagem amplia o horizonte estratégico das organizações, tornando o desenvolvimento sustentável uma condição essencial para garantir a viabilidade das empresas em um futuro cada vez mais exigente em termos sociais e ambientais.

2.2 EMISSÕES DE CARBONO E RETORNO ACIONÁRIO

A intensificação das preocupações acerca dos possíveis impactos oriundos dos riscos climáticos, têm despertado uma crescente atenção quanto à influência das emissões de carbono no desempenho financeiro das organizações, especialmente no retorno acionário. Um corpo substancial de pesquisas têm explorado se empresas mais poluentes, ou seja, aquelas com maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEE) oferecem retornos superiores como compensação ao risco climático (Bolton & Kacperczyk, 2021a; Bolton & Kacperczyk, 2021c; Pastor et al., 2021).

Existem diversas formas pelas quais se pode analisar o impacto das emissões de CO₂ no retorno acionário, pois as emissões de carbono estão diretamente relacionadas ao consumo de energias oriundas da queima de combustíveis fósseis, logo os retornos serão impactados por alterações nos preços de negociação de energia e commodities. Outra forma na qual os retornos das ações podem ser afetados, se dá por meio do risco de intervenções regulatórias com foco em limitação das emissões e precificação do carbono, tornando empresas de setores altamente poluentes mais expostas ao risco carbono (Bolton & Kacperczyk, 2021a).

A literatura tem encontrado resultados divergentes, tal falta de consenso é comumente interpretada sob duas óticas: A primeira, uma perspectiva baseada no risco carbono, na qual as empresas poluentes enfrentam maior custo de capital futuro em razão

de possíveis regulamentações ou taxações; já a segunda visão é baseada nas preferências dos investidores, sugerindo que ativos de empresas com altas emissões de carbono podem ser evitados por investidores conscientes, o que os tornaria relativamente subvalorizados e, assim, mais rentáveis (Hong & Kacperczyk, 2009; Pedersen et al., 2021).

Evidências recentes desafiam a robustez empírica da suposta relação positiva entre emissões e retorno. Aswani et al., (2024) revisitaram dados amplamente utilizados na literatura e concluíram que a associação entre emissões de carbono e retorno acionário, observada em estudos anteriores, é na maioria impulsionada por estimativas encontradas em base de dados e não por emissões efetivamente divulgadas pelas empresas. Além disso, ao se considerar a intensidade de emissões (emissões ajustadas por receita), em vez do volume absoluto, essa correlação com retornos desaparece. Aswani et al., (2024) argumentam que a intensidade de carbono é uma métrica mais adequada para avaliar o desempenho ambiental de empresas, por capturar variações em eficiência operacional.

Bolton & Kacperczyk (2023) apresentam uma visão contrária em relação à utilização da intensidade de emissão, por acreditarem tratar-se de uma métrica enganosa, permitindo que empresas com altos níveis de emissões de carbono se beneficiem artificialmente com base em suas receitas elevadas, dessa forma diluindo a percepção de risco climático real. Bolton & Kacperczyk (2023) também defendem que as emissões absolutas são consideradas uma proxy mais fiel do risco climático enfrentado pelas organizações, por refletirem diretamente a magnitude da externalidade gerada.

Em linha com a perspectiva de utilização da intensidade de emissões, Jung et al. (2023) investigaram se a produtividade de carbono (a razão entre a receita gerada por uma empresa e suas emissões de carbono) está associada à percepção de risco no mercado de capitais, mensurada por meio da volatilidade total e idiossincrática das ações de empresas norte-americanas. Utilizando uma base de dados composta por 2.526 observações de empresas entre os anos de 2011 e 2020, os autores demonstram uma relação estatisticamente significativa e negativa entre produtividade de carbono e volatilidade, indicando que empresas mais eficientes na utilização de carbono são vistas como menos arriscadas pelos investidores.

Resultados similares foram observados por Barberà-Mariné et al. (2023), que, ao analisar empresas listadas no índice europeu Stoxx 600 entre 2015 e 2021, constataram que maiores níveis de emissões impactam negativamente os retornos acionários. No entanto, empresas com melhor desempenho no pilar ambiental do ESG demonstraram retornos superiores, sugerindo que os investidores valorizam práticas sustentáveis. No mesmo sentido, Salehi et al. (2022), utilizando dados de montadoras no Irã, encontraram que maiores emissões de carbono reduzem o valor de mercado e os retornos das ações, com evidência de causalidade unidirecional das emissões para os retornos.

Já Akbar et al. (2023), com base em análise de 28 países da OCDE, identificaram uma relação negativa entre emissões e desempenho do mercado acionário, mas também uma associação positiva entre tributação ambiental e retornos, sugerindo que políticas públicas de precificação de carbono podem equilibrar os efeitos adversos percebidos pelos investidores.

Li et al. (2023) propuseram a construção de um índice de emissões de carbono baseando-se em três variáveis: volume de emissões, preço das permissões de emissão de carbono e atenção dos investidores ao tema. Para captar a resposta dos retornos acionários ao índice criado, foi utilizado o método de regressão quantílica, no qual os resultados empíricos revelaram que o impacto das emissões de CO₂ em relação ao retorno acionário de empresas de baixo carbono foi estatisticamente significativo apenas em um ano da amostra (2021), sugerindo que o risco relacionado ao carbono é mais percebido e precificado pelos investidores em condições de mercado mais voláteis.

Karagiannopoulou et al. (2022) por meio da utilização de séries temporais mensais entre abril de 2001 e julho de 2020 e da utilização do Modelo Vetorial de Correção de Erros, observou nos retornos das empresas que compõem o DJSI um impacto negativo no curto prazo sobre as emissões de carbono, ou seja, o aumento na valorização dessas empresas está associado à redução das emissões. Entretanto, no longo prazo, esse impacto se inverteu, indicando que o crescimento econômico, mesmo em empresas sustentáveis, pode levar ao aumento das emissões devido à expansão da atividade econômica.

Zhu et al. (2022) investigaram a viabilidade de obter retornos superiores a partir de uma estratégia de investimentos em ativos de baixo carbono no setor de energias renováveis da China. Utilizando-se de técnicas baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais e otimizadores de portfólio, foi desenvolvida uma estratégia de seleção de ativos baseada na classificação de emissão de carbono. Os resultados obtidos revelaram que os portfólios compostos majoritariamente por ativos de baixo carbono apresentaram retornos ajustados ao risco consistentemente superiores aos benchmarks de mercado.

Hsiao et al. (2024) investigaram os efeitos de contágio financeiro derivados das políticas públicas chinesas voltadas à mitigação das emissões de carbono, com foco nos impactos sobre os retornos acionários dos principais segmentos do setor energético, por meio de testes de contágio baseados em dependência linear, assimétrica e extrema para avaliar como choques regulatórios no setor de carvão se propagam para os mercados de energia. Os resultados indicaram que políticas de cap-and-trade e de corte de capacidade do carvão causam efeitos de contágio mais fortes, sobretudo nos mercados de energia não renovável, evidenciando vulnerabilidades maiores desses setores a políticas climáticas.

Com foco em empresas europeias do setor de utilidades elétricas, Bernardini et al. (2021), investigaram, por meio de modelos fatoriais de risco, como o risco de carbono afeta o desempenho acionário. Identificando um “prêmio de baixo carbono”, no qual as empresas com menor intensidade de emissões de CO₂ apresentaram retornos superiores sem aumento de risco sistemático.

Miao & Li (2022) analisaram empiricamente a relação entre emissões de carbono e retornos acionários em empresas chinesas, com foco na capacidade de gestão ambiental das firmas. Os resultados obtidos demonstraram não haver relação significativa entre emissões absolutas e retorno das ações, mas que empresas com maior competência em gestão de carbono apresentam retornos mais elevados, sobretudo entre grandes empresas.

Embora os modelos teóricos tenham descrito uma série de fatores possíveis que afetam o retorno acionário de empresas com maiores e menores níveis de emissões de carbono, a pesquisa empírica relacionada ao tema não obteve consenso, produzindo um amplo conjunto de resultados contraditórios, no qual empresas verdes e marrons apresentaram desempenho superior em diversos contextos, logo o atual corpo de pesquisa sobre finanças climáticas não estabeleceu consistentemente a relação entre as emissões de carbono e o retorno acionário.

H₁: Existe uma relação positiva entre os níveis de emissão de carbono e os retornos acionários das empresas listadas na B3.

2.3 PRÊMIO DE RISCO CARBONO

As discussões acerca da elevação das temperaturas médias globais é um tema recorrente em debates ao redor do mundo. Apesar das evidências que comprovam a relação entre as emissões de CO₂ e o efeito estufa, existe uma grande incerteza nas projeções para o aumento da temperatura global ao longo das próximas décadas (Andersson et al., 2016).

É importante salientar que apesar da seriedade do problema, não existe um consenso sobre as formas de mitigação das mudanças climáticas, isso deve-se a uma série de fatores, no qual se destaca: os países não são impactados da mesma forma pelas consequências geradas pelo aquecimento do planeta, logo o tema não é tratado como uma política de estado prioritária em diversos países (Andersson et al., 2016).

Bolton et al. (2022) defendem que a exposição ao risco climático do ponto de vista dos investidores deve ser analisada da seguinte forma:

- Os investidores buscarão formas de se proteger do risco climático, sendo mais prudentes em relação à sua exposição a tal risco;

- Serão exigidos pelos investidores um maior prêmio como consequência de assumir esse risco; e
- Por fim, os investidores exercerão pressão sobre as empresas, de modo que as mesmas adotem medidas de redução do risco climático, caso não recebam um prêmio adequado por ele.

Observando pela ótica das empresas, a gestão do risco climático por parte dos investidores acarretará um custo de capital mais alto para as organizações com maiores níveis de emissão de carbono, significando múltiplos de preço mais baixos em relação à projeção de fluxos de caixa futuros e taxas de obstáculos mais altas em novos investimentos, ocasionando a retração do negócio (Bolton et al., 2022).

Vale salientar que a ocorrência de eventos climáticos inesperados pode alterar a percepção do investidor em relação ao risco climático, ocasionando retornos acima do esperado para as empresas verdes (Pastor et al., 2021). Apesar dos ativos verdes fornecerem uma proteção contra o risco climático, eles devem apresentar características financeiras atraentes e compatível com a média do mercado, ou será improvável que apresentem retornos superiores (Bauer et al., 2022).

Diante do contexto apresentado, no qual as empresas e investidores estão expostos aos riscos ocasionados pelas emissões de CO₂, surge o conceito de prêmio carbono, que reflete uma procura menor dos investidores por ações de empresas diretamente ligadas a altos níveis de emissões de gases de efeito estufa, gerando uma redução na demanda por essas ações, refletindo em uma redução em seu preço (Bolton & Kacperczyk, 2021a).

O conceito de prêmio carbono refere-se à hipótese de que empresas com maiores emissões de carbono necessitam oferecer retornos superiores para compensar os investidores pelo risco de transição associado às políticas ambientais cada vez mais restritivas (Zhang, 2022).

O risco carbono baseia-se na volatilidade no preço futuro das licenças de emissões de CO₂, gerando incerteza sobre o impacto nos fluxos de caixa futuros das empresas, devido à possibilidade de variação nos preços das licenças de emissões de carbono, que se dão como consequências de alterações climáticas catastróficas (Oestreich & Tsiakas, 2015).

A crescente preocupação com os impactos das mudanças climáticas levou à intensificação do debate sobre o risco carbono. Nesse contexto, o mercado de carbono surge como um instrumento essencial de precificação desse risco, ao estabelecer um valor monetário para as emissões de gases do efeito estufa e criar incentivos econômicos para sua redução. O mercado de carbono, portanto, não apenas materializa o risco carbono como também atua como seu principal canal de transmissão para os preços dos ativos financeiros.

O mercado de carbono foi criado por países comprometidos com a redução das emissões, sendo dividido em duas categorias, o mercado de negociação de cotas, que visa o atingimento de metas redução e o mercado de negociação voluntária, que tem um foco maior na responsabilidade social e ambiental (Zhou & Li, 2019).

Por meio do mercado de carbono é possível realizar negociações e criar políticas financeiras com o foco em reduzir as emissões de GEE, também é possível atrair investimentos para projetos comprometidos com uma economia de baixo carbono (Lin, 2012). Dentro desse contexto destaca-se o financiamento de carbono, sendo ele uma forma de negociação sobre os direitos de emissões de carbono (Zhou & Li, 2019).

Em 2003, foi sancionado pelo parlamento europeu regras para o funcionamento do comércio de emissões de carbono, entrando em vigor no início de 2005 (Venmans, 2012). O Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia é o maior mercado de carbono do mundo, possuindo como participantes 11.500 empresas que juntas são responsáveis pela emissão de 2 bilhões de toneladas de CO₂ ao ano, equivalendo a 40% das emissões totais da União Europeia (Oestreich & Tsiakas, 2015).

O funcionamento do Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia se dá por meio das seguintes regras: inicialmente, define-se um limite anual das emissões totais de carbono. Em seguida, são emitidas licenças que autorizam as empresas a emitirem CO₂ de forma que não ultrapassem o limite de emissões anuais de carbono definido.

Cada licença fornece o direito de a organização emitir uma tonelada de carbono e as licenças são distribuídas por cada unidade fabril ou instalação. Caso uma empresa gere emissões de CO₂ acima das licenças que possui, deverá comprar licenças extras de empresas menos poluentes que possuem cotas excedentes conforme representado na Figura 2 (Oestreich & Tsiakas, 2015).

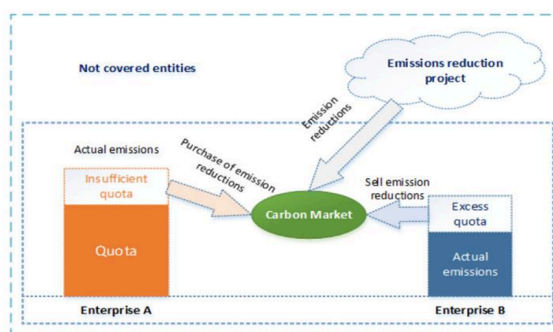


Figura 2. Funcionamento do mercado de carbono.

Fonte: Zhou & Li (2019).

Também em 2003 foi fundado o Chicago Climate Exchange (CCX), sendo o segundo maior mercado de carbono do mundo e o único que possui negociações de seis gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O),

hidrofluorcarbonetos (HFCs), compostos perfluorados (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF6) (Zhou & Li, 2019).

O Chicago Climate Exchange (CCX) foi o primeiro mercado norte-americano de negociação de emissões de gases de efeito estufa a operar com base em um sistema voluntário de cap-and-trade. O CCX permite a participação de empresas, universidades e outras organizações que se comprometam legalmente a reduzir suas emissões, para isso eles recebem permissões chamadas de Carbon Financial Instruments (CFIs), que conferem o direito de emitir 100 toneladas de CO₂e.

Os membros devem seguir metas de redução progressivas, os participantes que excederem suas metas precisam comprar CFIs adicionais, enquanto aqueles com emissões abaixo da meta podem vender seus excedentes ou acumulá-los para uso futuro. Também a elaboração de projetos de compensação, como reflorestamento e geração de energia limpa, pode gerar créditos negociáveis, desde que aprovados e verificados (Sabbaghi & Sabbaghi, 2011).

Por sua forma de funcionamento, a implementação dos mercados de carbono tornam-se uma ferramenta primordial para o combate ao risco climático oriundos das emissões de gases de efeito estufa, ao apresentar como foco principal a redução constante nas emissões.

Vale salientar que a possibilidade de ganho financeiro com as vendas de licenças excedentes, para as empresas com iniciativas e implementação de novas tecnologias que permitam a redução de emissões em suas operações. A criação dos mercados de carbono tem se mostrado uma alternativa econômica promissora, como uma ferramenta de controle das emissões de GEE e atingimento de metas de redução (Brohe et al., 2012).

Nesse contexto, o mercado de carbono não apenas funciona como instrumento de controle ambiental e incentivo à inovação tecnológica, mas também influencia diretamente a forma como o risco climático é precificado nos mercados financeiros. A imposição de limites às emissões e a possibilidade de negociar permissões estabelecem um custo operacional para empresas intensivas em carbono, tornando a exposição às emissões um fator de risco relevante. Como argumentam Bolton e Kacperczyk (2021a), os investidores passaram a exigir retornos adicionais de empresas com maiores emissões absolutas, configurando o chamado “prêmio de risco carbono”. Dessa forma, o funcionamento dos mercados de carbono está intrinsecamente ligado à precificação do risco de transição, afetando a tomada de decisão por parte dos investidores.

A literatura de finanças sustentáveis tem buscado investigar a existência do risco carbono e qual seu impacto financeiro. Bolton & Kacperczyk (2021a), analisaram a relação entre retorno acionário e emissões de carbono das empresas americanas que possuíam

dados disponíveis sobre as emissões anuais de carbono, analisando cerca de 3400 empresas no período de 2005 a 2017.

Bolton & Kacperczyk (2021a) identificaram que as emissões de carbono oriundas do escopo 1 e as emissões indiretas do escopo 2 e 3 apresentaram uma associação positiva com o retorno acionário. Logo, as empresas com maiores níveis de emissões de carbono tendem a apresentar retornos acionários mais altos, levando ao entendimento de que os maiores retornos são consequência da exposição dos investidores ao risco climático, exigindo o pagamento de um prêmio de carbono.

No mesmo ano, Bolton & Kacperczyk (2021c) identificaram que a presença do risco carbono era uma descoberta robusta, com a elaboração de um estudo considerando uma amostra de 14468 empresas de 77 países, no qual foram analisadas durante o período de 2005 a 2019. Tal conclusão foi suportada pelo aumento de um desvio padrão nas emissões de escopo 1, associado a uma redução de 13% do book-to-market 13% menor, fornecendo uma confirmação da existência de um prêmio de carbono.

Em relação aos estudos que investigaram a existência de um prêmio carbono, Bolton et al. (2022) afirmam:

Uma descoberta importante de ambos os estudos é que o prêmio de carbono parece completamente independente da intensidade de emissão, o qual é a relação entre as emissões de carbono e a receita de vendas. Essa descoberta foi um tanto surpreendente, pois muitos investidores institucionais são conhecidos por aplicar filtros de triagem excludentes a seus portfólios, uma forma de desinvestimento, com base na intensidade de emissão da empresa, mas não no nível ou na taxa de crescimento das emissões. Outra descoberta importante de ambos os estudos é que o prêmio de carbono está presente em todos os setores da indústria, não apenas nos setores de energia, de serviços públicos e de transportes, onde se verifica a maior parte do desinvestimento.(p. 19).

Uma série de estudos tem investigado empiricamente a existência desse prêmio, Bolton e Kacperczyk (2021a, 2021c e 2022), demonstraram a presença de um prêmio positivo relacionado ao nível total de emissões e ao crescimento das emissões, entretanto tal prêmio não foi identificado em relação à intensidade de emissões, tanto nos Estados Unidos quanto em outros 77 países.

Bolton e Kacperczyk (2023), em resposta a críticas metodológicas de seus estudos anteriores, reafirmam a robustez do chamado “prêmio de risco de carbono”. Reforçando que, as emissões absolutas de carbono são um preditor estatisticamente significativo dos retornos das ações, sobretudo após o Acordo de Paris de 2015. Demonstrando que empresas com maiores emissões absolutas tendem a oferecer retornos superiores, sugerindo que o mercado passou a exigir uma compensação adicional pelo risco de transição climática.

Similarmente, Görgen et al. (2020) investigaram a existência de um prêmio relacionado ao risco de carbono, identificando que empresas marrons estão associadas a maiores retornos médios em comparação às empresas verdes, corroborando a existência de um prêmio de risco carbono.

Todavia, os autores destacam que o efeito ocorre devido a dois fatores: “movimentos opostos de preços de empresas marrons e empresas que estão se tornando mais verdes e que o risco de carbono está associado a mudanças no fluxo de caixa não precificadas, em vez de mudanças na taxa de desconto precificadas” (Görgen et al., 2020, p. 1).

Hsu et al. (2022) encontraram um prêmio utilizando a intensidade de emissões tóxicas como proxy, no qual as empresas com maior intensidade de emissões apresentaram um retorno médio anual de 4,42% acima das empresas com baixa intensidade. De acordo com Hsu et al. (2022), o desempenho superior é explicado com a modelagem de um novo risco sistemático relacionado à incerteza das regulações ambientais.

As descobertas Bolton & Kacperczyk (2021c) e Bolton & Kacperczyk (2021a) não são consensos na literatura de finanças sustentáveis, existindo visões contrárias em relação à existência de um prêmio de carbono. Cheema-Fox et al. (2021) estimam que os retornos de portfólios com maiores quantidades de empresas com baixos níveis de emissões de carbono, apresentam retornos positivos em alguns setores econômicos e retornos negativos em outros. Já em estudo realizado anteriormente, Cheema-Fox et al. (2019) obtiveram como achado, a evidência que um portfólio composto por empresas de setores com baixas emissões de carbono apresentou um alfa positivo e significativo de cerca de 2% ao ano em comparação a setores mais poluidores.

Corroborando com os resultados obtidos por Cheema-Fox et al. (2021) e utilizando uma abordagem metodológica parecida, Pastor et al. (2022) defende a existência de um prêmio em ações de empresas verdes, o qual o autor denomina de “greenium”, opondo-se à ideia de um prêmio de carbono. O estudo foi realizado com empresas americanas durante o período de 2012 a 2020, no qual a amostra foi dividida em um portfólio de ações “verdes” e outro composto por ações “marrons”, obtendo como resultado retornos muito superiores do portfólio de ações verdes no período investigado.

Aswani, Raghunandan e Rajgopal (2022) sugerem que o prêmio de risco carbono desaparece ao se controlar por características firmes específicas, ajustes estatísticos e qualidade da divulgação. Além disso, In et al. (2017), Pedersen et al. (2021) e Pástor et al. (2022) propõem a existência de um “green premium”, no qual empresas ambientalmente responsáveis apresentam retornos superiores, refletindo preferência crescente dos investidores por ativos sustentáveis.

Diante da falta de consenso na literatura acerca do prêmio carbono, Zhang (2022) avança na discussão ao sugerir que tais variações podem ser explicadas por choques

contemporâneos de preferência dos investidores e por preocupações sociais com as mudanças climáticas, do que por um mecanismo de precificação de risco plenamente estabelecido.

Zhang (2022) utiliza medidas como os fluxos sustentáveis de capital e indicadores de preocupação climática para demonstrar que países mais desenvolvidos, onde tais preocupações são mais prevalentes, apresentam prêmios negativos para ativos de alto carbono. Por outro lado, países com maior vulnerabilidade física às mudanças climáticas e políticas ambientais mais rigorosas tendem a exibir prêmios positivos, refletindo maior exigência de retorno para exposição ao risco de carbono.

Diante do exposto, pretende-se analisar se a seguinte hipótese é verdadeira:

H₂: Empresas com maiores níveis de emissões de carbono apresentam retornos acionários superiores.

2.4 ÍNDICES DESCARBONIZADOS - ICO2

As incertezas que permeiam as mudanças climáticas e seus possíveis impactos tornam-se um aspecto de risco importante a ser considerado pelos investidores, principalmente os que possuem ativos de longo prazo, tornando o risco carbono um fator relevante a ser considerado em suas estratégias de investimento (Andersson et al., 2016).

Buscando reduzir a exposição ao risco carbono, mas sem abdicar dos retornos financeiros, deu-se a criação dos índices descarbonizados, tendo como principal objetivo proteger os investidores dos riscos gerados pelas mudanças climáticas e da implementação de políticas regulatórias acerca das emissões (Andersson et al., 2016).

Andersson et al. (2016) afirmam:

Os investidores que detêm um índice descarbonizado conseguiram reduzir sua exposição à pegada de carbono sem sacrificar nenhum retorno financeiro. Na verdade, esses investidores estão mantendo uma “opção livre sobre carbono”, enquanto a introdução de limites significativos nas emissões de CO₂ for adiada, eles podem obter os mesmos retornos de um índice de referência. Mas a partir do dia em que as emissões de CO₂ forem precificadas de forma significativa e consistente e os limites nas emissões de CO₂ forem introduzidos, o índice descarbonizado deverá superar o índice de referência. (p. 14–15).

O Brasil é responsável por aproximadamente 2,28% do total das emissões globais de gases do efeito estufa (WRI Brasil, 2020). A partir do crescimento das discussões acerca da redução das emissões de carbono e formas eficientes de combater as mudanças climáticas, foi criado em 2010 o Índice de Carbono Eficiente pela bolsa de valores brasileira, tendo como objetivo ser o indicador de desempenho das cotações de ativos, levando em conta as emissões de GEE das empresas (ICO2, 2023).

Atualmente, 75 empresas fazem parte do ICO2, sendo elas responsáveis pela emissão de 148.722.045 tCO₂e, representando uma receita de aproximadamente R\$ 4,5 trilhões (ICO2, 2024). Devido à heterogeneidade das empresas que compõem o índice, foi necessário a implementação de um critério de ponderação; então, foi criado o coeficiente de Emissão/Receita, conforme fórmula abaixo:

$$\text{Coeficiente Emissão/Receita} = \text{Emissão de GEE (tCO}_2\text{e)} / \text{Receita (R\$MM)} \quad (1)$$

Fonte: ICO2-B3

Após a criação do índice, a literatura buscou investigar o impacto da participação do índice ICO2 no desempenho financeiro das organizações. Silva et al. (2015) analisaram 28 empresas listadas no ICO2 entre 2010 e 2013, examinando a relação entre o nível de disclosure sobre créditos de carbono e indicadores de rentabilidade (ROA e ROE). Obtendo como resultados a indicação de que um maior grau de divulgação sobre a comercialização de créditos de carbono esteve associado à redução do ROA, mas ao aumento do ROE, sugerindo que a transparência ambiental pode gerar impactos distintos sobre diferentes métricas de retorno financeiro.

Já Carvalho et al. (2016) compararam o desempenho de índices sustentáveis com os demais índices da BM&FBovespa, concluindo que o ICO2 apresenta maior variabilidade em comparação ao ISE, ainda que ambos compartilhem retornos médios semelhantes. O estudo reforça que empresas em índices de sustentabilidade não se destacam necessariamente por desempenho financeiro superior, mas por características sociais e ambientais.

Carvalho et al. (2017) investigaram os efeitos da entrada e saída de empresas no ICO2 entre 2012 e 2015. Constatando que a entrada no índice estava associada a retornos anormais positivos, enquanto a saída resultava em retornos negativos, sugerindo que a participação no ICO2 influencia a percepção de valor de mercado por parte de investidores socialmente responsáveis.

Buscando identificar uma possível superioridade no desempenho financeiro do ICO2, Carvalho & Callado (2017) realizaram uma comparação entre os 24 índices existentes na B3, observando que o índice ICO2 apresentava apenas o décimo segundo retorno médio diário, em comparação com os demais índices da B3.

Sousa e Zucco (2017) propuseram um índice de ecoeficiência para classificar empresas do ICO2 com base em sua capacidade de gerar receitas com baixa emissão de gases de efeito estufa. Os setores de bebidas, higiene pessoal e beleza apresentaram melhor desempenho, enquanto empresas de alimentos processados e papel e celulose ficaram nas posições inferiores, revelando variações setoriais significativas.

Maia et al. (2015) observaram não haver correlação consistente entre a participação no ICO2 e a rentabilidade das empresas, embora reconheçam que a visibilidade e o alinhamento com práticas sustentáveis possam contribuir para a reputação institucional, podendo, eventualmente, gerar retornos indiretos ao longo do tempo.

Souza et al. (2018) concluíram que empresas participantes do ICO2 não necessariamente apresentam retornos mais elevados ou menor risco de mercado, reforçando a percepção de que a sustentabilidade deve ser compreendida como um compromisso de longo prazo, e não como um diferencial financeiro imediato.

Cunha et al. (2021), por sua vez, apresentaram resultados mais otimistas. Eles identificaram que, entre 2010 e 2019, o ICO2 superou tanto o benchmark do mercado brasileiro (IBOV) quanto o ISE em desempenho, sugerindo que investimentos de baixo carbono podem, sim, gerar resultados competitivos, ao menos em determinados contextos e prazos.

Lima (2022) por meio da análise de indicadores financeiros, teste de Mann-Whitney U e análise de cluster, encontrou resultados dentro da média do mercado para o índice ICO2, em que não foram identificados desempenho superior ou inferior, corroborando resultados de estudos anteriores (Souza et al., 2018).

López-Cabarcos & Quiñóá-Piñeiro (2023) investigaram se as empresas integrantes do Índice de Carbono Eficiente (ICO2) da B3 apresentavam melhor desempenho econômico-financeiro em comparação às demais empresas do índice Ibovespa, entre os anos de 2014 a 2018. Os autores utilizaram indicadores clássicos de performance como ROIC, ROE e ROA e, por meio do teste de Mann-Whitney, avaliaram a significância estatística das diferenças entre os grupos. Os resultados evidenciaram não haver superioridade financeira significativa das empresas pertencentes ao ICO2 em relação às demais, reforçando a visão de que o compromisso ambiental, embora positivo para a imagem institucional e para o relacionamento com stakeholders, não se manifesta automaticamente em desempenho financeiro superior.

O estudo conduzido por Vogt & Schons (2022) analisou a relação entre o Índice de Carbono Eficiente (ICO2) e a rentabilidade de empresas brasileiras de capital aberto. A amostra foi composta por 59 companhias listadas na B3 que apresentaram dados completos para o período analisado. Para examinar a correlação entre o desempenho ambiental e financeiro, foram aplicadas técnicas quantitativas como estatística descritiva, o método TOPSIS e a correlação de Kendall.

Os resultados demonstraram não haver uma relação estatisticamente significativa entre o ICO2 e os indicadores de rentabilidade analisados (margem líquida, giro do ativo, ROA e ROE). Isso sugere que a adesão a práticas sustentáveis, ainda que crescente e relevante sob a ótica da responsabilidade corporativa, não se traduz, necessariamente, em

ganhos financeiros mensuráveis no curto prazo. Apesar disso, o estudo trouxe uma importante contribuição ao destacar as práticas de sustentabilidade evidenciadas nos relatórios corporativos, mostrando um alinhamento cada vez mais forte das empresas com as agendas de mudança climática e responsabilidade socioambiental.

Diante do exposto, fundamenta-se a seguinte hipótese:

H₃: Empresas não participantes do Índice Carbono Eficiente (ICO2) apresentam desempenho financeiro superior em relação às empresas participantes.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa pode ser classificada, quanto à abordagem, como um estudo quantitativo. Segundo a interpretação de Richardson (1989, apud Dalfovo et al., 2008), o método quantitativo caracteriza-se pelo uso da quantificação tanto na coleta de informações quanto no tratamento dos dados, recorrendo a técnicas estatísticas que podem variar de procedimentos simples a métodos mais complexos.

Em relação aos objetivos, pode ser classificada como descritiva, pois tem como objetivo identificar e detalhar propriedades, características e aspectos relevantes dos fenômenos analisados, permitindo a descrição de padrões e tendências observadas em determinado grupo ou população (Sampieri et al., 2013).

Também se configura como um estudo empírico-analítico com utilização de dados secundários. De acordo com Ferreira, (2015) a perspectiva empirista entende que o conhecimento científico deve ser derivado dos fatos observáveis, de modo que o pesquisador possa descrever fenômenos gerais, mensuráveis e passíveis de reprodução.

A coleta dos dados secundários foi realizada nas plataformas Economática e Refinitiv Eikon, a tabulação e tratamento inicial dos dados se deu por meio do Excel, já toda análise de estatística descritiva e aplicação da metodologia do estudo foi realizada por meio do software R.

3.1. POPULAÇÃO E AMOSTRA

Este estudo adota uma abordagem quantitativa com base em dados secundários, no qual as informações financeiras são provenientes da plataforma Economática e os dados referentes às emissões de carbono foram coletados na base Refinitiv Eikon.

A população inicial abrangeu todas as empresas disponíveis nas bases de dados, sendo posteriormente submetida a critérios de seleção e exclusão a fim de assegurar a consistência e a comparabilidade das informações. O período de análise compreendeu os anos de 2019 a 2024, no qual foram utilizados dados financeiros mensais, tendo sido selecionados referentes ao período de janeiro de 2019 a dezembro de 2024. Já os dados referentes às emissões de carbono são divulgados apenas anualmente, tendo sido coletadas as emissões totais de carbono referente ao período de 2019 a 2024.

A seleção das empresas considerou inicialmente aquelas com sede no Brasil, a fim de garantir homogeneidade regulatória e contábil. Além disso, foram incluídas apenas empresas com tipo de ativo classificado como Ação, excluindo-se, portanto, outros instrumentos financeiros como BDRs, fundos imobiliários e debêntures. Também foram

mantidas exclusivamente as empresas com situação ativa ao longo do período de análise, sendo excluídas aquelas que se encontravam descontinuadas.

No que se refere à disponibilidade de dados, foram mantidas na amostra apenas as empresas que apresentavam no mínimo uma divulgação das emissões de carbono para o período analisado, sendo excluídas da amostra todas as empresas que não possuíam tal informação. Também foi utilizado como critério de seleção a adoção da ação de maior liquidez nos casos no qual a mesma empresa possui negociação de ações preferenciais e ordinárias.

Ao final da aplicação desses critérios, a amostra resultante consistiu em um conjunto de 90 ações, conforme apresentado na Tabela 11, tal filtragem contribui para a eliminação de vieses, além de minimizar problemas relacionados à falta de informação e inconsistência dos dados, permitindo dessa forma o atingimento dos objetivos propostos de forma robusta.

A amostra empregada neste estudo é considerada relevante por contemplar 6.191 observações mensais de empresas listadas na B3 no período de 2019 a 2024, abrangendo 90 firmas de distintos setores de atividade e de elevada representatividade no mercado de capitais brasileiro. O recorte temporal é pertinente por incluir eventos que moldaram o ambiente corporativo e financeiro recente, como a intensificação das práticas ESG, os avanços regulatórios relacionados ao mercado de carbono e choques externos significativos, a exemplo da pandemia da COVID-19.

Apesar dos estudos de precificação de ativos se concentrarem em um período mais longo de tempo visando eliminar inferências, a delimitação de um período mais curto nesse estudo se deu por algumas razões. Em primeiro lugar, a disponibilidade de dados de emissões de carbono em períodos anteriores a 2019 eram bastantes escassos. Além disso, de acordo com Gorgen et al. (2020), o risco carbono se tornou relevante para os mercados financeiros apenas nos últimos anos.

3.2 MÉTODO ECONOMETRICO

Dada a estrutura da base de dados utilizada neste estudo, composta por observações anuais de emissões de carbono e retornos médios anuais de múltiplas empresas brasileiras listadas na B3 no período de 2019 a 2024, a abordagem econométrica mais apropriada, foi a modelagem de dados em painel, também conhecida como análise longitudinal. Essa técnica permite explorar simultaneamente as variações entre empresas (efeitos cross-section) e as variações ao longo do tempo (efeitos temporais), capturando de forma mais acurada as relações entre os determinantes do retorno acionário.

Os dados em painel consistem no agrupamento de observações de uma seção transversal de unidades como indivíduos, firmas ou países acompanhadas ao longo de

diferentes períodos de tempo. Essa estrutura combina, portanto, as dimensões de corte transversal e de séries temporais, permitindo observar simultaneamente variações entre unidades e ao longo do tempo (Baltagi, 2008).

Modelos de dados em painel apresentam vantagens substanciais em relação aos modelos tradicionais de corte transversal (cross-section) ou séries temporais (time-series). Segundo Baltagi (2008) e Wooldridge (2010), essa abordagem oferece maior quantidade de informação, mais variabilidade nos dados, menor colinearidade entre variáveis, maior grau de liberdade e, conseqüentemente, maior eficiência estatística.

O uso de modelos de dados em painel permite controlar por características não observáveis específicas de cada empresa que se mantêm constantes ao longo do tempo, como estrutura organizacional, cultura interna e práticas gerenciais. Tal abordagem é especialmente relevante em estudos de finanças corporativas e sustentabilidade, nos quais parte da heterogeneidade entre empresas não é captada diretamente pelas variáveis observadas (Wooldridge, 2010; Baltagi, 2008; Petersen, 2009).

3.3 MODELO DE REGRESSÃO

Visando analisar a relação entre as emissões de carbono e o retorno acionário das empresas listadas na B3, investigando se maiores níveis de emissões impactam positivamente os retornos financeiros, foi adotado o modelo de regressão apresentado na Equação 2.

$$\text{Retorno}_{it} = \alpha + \beta \text{Carbono}_{it-1} + \gamma' \text{Controles}_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Em que:

Retorno = retornos médios anuais das ações;

Carbono = emissões totais anuais (tCO₂e) das empresas;

Controles = beta, logaritmo do valor de mercado, book-to-market.

O modelo adotado foi inspirado no utilizado por Zhang (2022), no qual se utilizou retornos médios anuais como a variável dependente e as emissões anuais de carbono como variável independente. Já as variáveis de controle incluem o beta médio anual estimado, o tamanho calculado como o logaritmo do valor de mercado no final do ano, o índice valor contábil sobre valor de mercado (book-to-market).

A inclusão de variáveis de controle é fundamental para evitar vieses de especificação e assegurar que o efeito estimado das emissões de carbono sobre os retornos acionários não seja confundido com outros determinantes já consolidados pela literatura financeira. Entre as variáveis tradicionalmente utilizadas em estudos de precificação de ativos, destaca-se o tamanho da firma (valor de mercado), a razão entre valor contábil e valor de mercado (book-to-market) e o beta de mercado.

O tamanho da firma, usualmente mensurado pelo logaritmo da capitalização de mercado, é reconhecido como um dos principais fatores de risco desde o trabalho seminal de Banz (1981), que identificou a tendência de empresas menores apresentarem retornos médios superiores, fenômeno posteriormente incorporado ao modelo de três fatores de Fama e French (1993). Similarmente, a razão book-to-market é utilizada para distinguir empresas classificadas como value e growth. Evidências robustas apontam que empresas com alto book-to-market tendem a obter retornos superiores, refletindo tanto riscos financeiros adicionais quanto potenciais oportunidades de mercado sub exploradas (Fama & French, 1992; Lakonishok et al., 1994).

Por fim, o beta de mercado, introduzido no modelo clássico do Capital Asset Pricing Model (CAPM) de Sharpe (1964), continua sendo uma variável central na explicação dos retornos, ainda que a literatura posterior tenha identificado limitações do CAPM em capturar toda a variação cross-section dos retornos (Black et al., 1972; Fama & French, 1993). A presença do beta no modelo justifica-se pelo seu papel na mensuração da sensibilidade das ações às oscilações do mercado, representando o risco sistemático que não pode ser eliminado pela diversificação.

3.4 SELEÇÃO DO MODELO ECONOMETRICO

A validade dos modelos econométricos estimados depende do cumprimento de pressupostos fundamentais que asseguram a consistência, eficiência e validade inferencial das estimativas. Assim, foi conduzida uma bateria de testes diagnósticos com o objetivo de identificar possíveis violações e aplicar as correções necessárias.

O ponto de partida consiste na seleção do modelo mais adequado (Mínimos Quadrados Agrupados “Pooled OLS”, Efeitos Fixos “Fixed Effects” ou Efeitos Aleatórios “Random Effects”). Para a escolha entre os modelos apropriados de painel, foram aplicados uma sequência lógica de testes formais, conforme recomendado por Baltagi (2021) e Wooldridge (2010). Essa sequência permite identificar a presença de efeitos individuais e determinar se tais efeitos estão correlacionados com as variáveis explicativas, definindo o modelo mais adequado ao conjunto de dados.

A estimação do modelo Pooled OLS, considera que todas as observações são homogeneamente distribuídas e que não há características específicas de cada empresa que influenciem o retorno das ações. Ou seja, o intercepto e os coeficientes das variáveis independentes são comuns a todas as unidades e períodos. Embora esse modelo seja o mais simples, ele pode gerar estimadores viesados caso existam diferenças estruturais não observadas entre as empresas (Baltagi, 2021).

Para verificar se essa suposição de homogeneidade é válida, aplicou-se o teste F de Chow, o qual compara o modelo Pooled com o modelo de Efeitos Fixos. Segundo Wooldridge (2010), o teste F de Chow avalia a hipótese nula de que todos os interceptos específicos são iguais, ou seja, de que não há efeitos individuais significativos. A rejeição da hipótese nula indica que o modelo com efeitos fixos é mais adequado do que o modelo agrupado (pooled OLS), que desconsidera as especificidades individuais (Baltagi, 2008; Wooldridge, 2010).

Na sequência, procedeu-se ao teste de Breusch-Pagan Lagrange Multiplier (LM), cuja função é comparar o modelo Pooled em relação ao modelo de Efeitos Aleatórios. Esse teste, desenvolvido por Breusch e Pagan (1980), avalia se a variância dos efeitos individuais é estatisticamente diferente de zero. A hipótese nula sustenta que os efeitos aleatórios não existem, o que equivaleria à homogeneidade assumida no modelo Pooled. Caso a hipótese nula seja rejeitada, conclui-se que existe heterogeneidade não observada, sendo o modelo de Efeitos Aleatórios mais apropriado (Baltagi, 2021).

Contudo, mesmo que o teste LM aponte a presença de efeitos individuais, é necessário verificar se esses efeitos estão correlacionados com as variáveis explicativas do modelo. Essa verificação é feita por meio do teste de Hausman, proposto por Hausman (1978), que compara as estimativas obtidas pelos modelos de Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios. A hipótese nula assume não haver correlação entre os efeitos não observados e os regressores, o que tornaria os estimadores do modelo de Efeitos Aleatórios consistentes e eficientes. Caso essa hipótese seja rejeitada, os efeitos estão correlacionados com as variáveis explicativas, e o modelo de Efeitos Fixos passa a ser o mais adequado. Assim, o teste de Hausman fornece a decisão final entre os modelos de Efeitos Fixos e Aleatórios.

A aplicação sequencial desses três testes, F de Chow, LM de Breusch-Pagan e Hausman, constitui o procedimento padrão de especificação para modelos de dados em painel (Baltagi, 2021; Wooldridge, 2010). O resultado combinado dessas análises orienta a escolha entre o modelo Pooled, o modelo de Efeitos Fixos e o modelo de Efeitos Aleatórios, de acordo com a estrutura da variância e a presença de correlação entre os efeitos não observados e os regressores.

3.5 VALIDAÇÃO DO MODELO ECONOMETRICO

Após a escolha do modelo mais adequado, procedeu-se à avaliação dos pressupostos clássicos da regressão, visando garantir a validade estatística das inferências. Entre os principais diagnósticos, destaca-se o teste de Breusch-Pagan para heterocedasticidade, cuja hipótese nula postula que os erros possuem variância constante. A rejeição dessa hipótese indica que a variância dos resíduos varia entre as observações, o que torna os erros-padrão do modelo não consistentes e compromete os testes de significância dos coeficientes (Baltagi, 2021).

Em seguida foi realizado o teste de Wooldridge para autocorrelação serial, no qual é empregado para detectar a presença de correlação temporal entre os resíduos de uma mesma unidade. A autocorrelação pode levar à subestimação dos erros-padrão e, consequentemente, à falsa detecção de significância estatística (Wooldridge, 2010).

Caso seja identificado problemas relacionados à presença de heterocedasticidade e autocorrelação, é necessário adotar procedimentos de correção. Nesta pesquisa, optou-se pela utilização da correção de White (1980) para os erros-padrão, que fornece uma matriz de variâncias-covariâncias robusta à heterocedasticidade de forma geral. Esse método, amplamente difundido na literatura econométrica, não requer suposições específicas sobre a estrutura da variância dos erros, garantindo a consistência das inferências mesmo quando há violação do pressuposto de homocedasticidade (Baltagi, 2021).

Além disso, conforme ressalta Wooldridge (2010), a correção de White é particularmente adequada para painéis com número limitado de períodos e variabilidade significativa entre as unidades, como ocorre em amostras de empresas de capital aberto. Assim, a aplicação dos erros-padrão robustos de White assegura que as estimativas permaneçam consistentes e os testes reflitam de maneira mais precisa a significância estatística das variáveis explicativas.

3.6 MENSURAÇÃO DO PRÊMIO DE RISCO CARBONO

A identificação do risco de carbono no mercado brasileiro requer a adoção de critérios rigorosos. O primeiro deles é a utilização das emissões totais de carbono, levando em conta os três escopos em nossa análise. O segundo critério foi a exclusão de empresas que atuam no setor financeiro. De acordo com Gorgen et al. (2020), essas empresas se comportam de maneira diferente em comparação com empresas de outros setores, o que faz com que as instituições financeiras pareçam menos propensas ao risco de carbono, pois suas atividades principais não estão diretamente ligadas às emissões de carbono.

Para a elaboração do estudo, utilizou-se como base a metodologia aplicada por Bauer et al. (2022). Sua abordagem consiste na construção de carteiras, classificando as empresas em verdes ou marrons de acordo com seus níveis de emissões totais de carbono e em relação a intensidades de emissões. Para o cálculo da intensidade de emissões foi adotada a metodologia de quantificação do índice de carbono eficiente ICO₂, conforme apresentado na Equação 1.

Para a construção das carteiras foram adotados três métodos de forma a garantir uma maior robustez na análise: O primeiro método é baseado no spread ajustado ao tamanho, utilizando classificações bidirecionais por capitalização de mercado e valor de mercado, conforme modelo de Fama & French (1993). Neste estudo foi utilizada uma classificação bidirecional levando em conta o valor de mercado, emissões totais de carbono e intensidade de emissões.

Para a formação das carteiras, as empresas foram classificadas como “pequenas” ou “grandes” com base em seu valor de mercado de janeiro de cada ano analisado neste estudo em comparação com o valor de mercado médio da amostra. Então, em cada grupo de tamanho, as empresas foram divididas em dois grupos de acordo com suas emissões totais de carbono, sendo classificadas como verdes as empresas que possuem as menores emissões totais de carbono (1º tercil), marrons as que apresentam as maiores emissões totais de carbono (3º tercil) e as que possuem emissões totais intermediárias foram desconsideradas da análise.

O mesmo procedimento foi repetido utilizando a variável intensidade de carbono, no qual todas as empresas são divididas em três grupos de acordo com sua intensidade de carbono, sendo classificadas como verdes as empresas que possuem a menor intensidade de carbono (1º tercil), marrons as que apresentam a maior intensidade de carbono (3º tercil) e as neutras as que possuem intensidade de carbono intermediária, que também foram desconsideradas da análise.

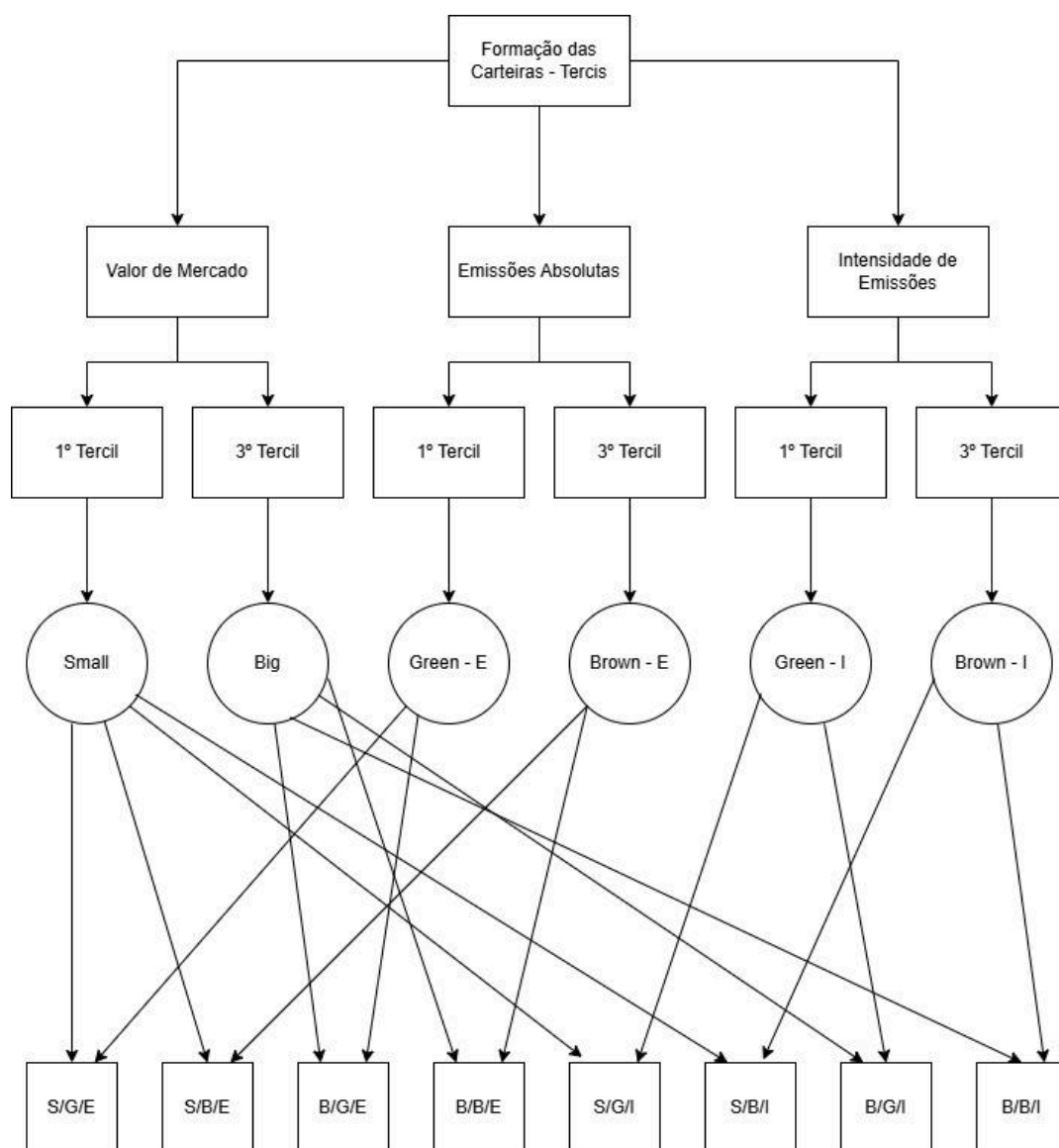


Figura 3. Formação das carteiras baseadas no spread ajustado ao tamanho
 Fonte: Elaboração própria (2025).

Assim, a formação do portfólio baseado no spread ajustado ao tamanho, considerando, primeiros e últimos tercis resultou na formação de oito carteiras, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1:
Carteiras baseada em tercis e spread ajustado ao tamanho.

Nome das Carteiras	Valor de Mercado	Emissões	Intensidade	Descrição da Carteira
S/G/E	1º Tercil	1º Tercil	-	Pequena / Verde / Emissão
S/B/E	1º Tercil	3º Tercil	-	Pequena / Marrom / Emissão
B/G/E	3º Tercil	1º Tercil	-	Grande / Verde / Emissão

B/B/E	3º Tercil	3º Tercil	-	Grande / Marrom / Emissão
S/G/I	1º Tercil	-	1º Tercil	Pequena / Verde / Intensidade
S/B/I	1º Tercil	-	3º Tercil	Pequena / Marrom / Intensidade
B/G/I	3º Tercil	-	1º Tercil	Grande / Verde / Intensidade
B/B/I	3º Tercil	-	3º Tercil	Grande / Marrom / Intensidade

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para a identificação da existência de um prêmio de risco carbono para o primeiro portfólio, foi inicialmente calculado o retorno médio de cada carteira, após isso, foi calculada a diferença nos retornos das empresas marrons e verdes, conforme as equações abaixo:

$$\overline{RET\ SBE} - \overline{RET\ SGE} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (3)$$

$$\overline{RET\ BBE} - \overline{RET\ BGE} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (4)$$

$$\overline{RET\ SBI} - \overline{RET\ SGI} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (5)$$

$$\overline{RET\ BBI} - \overline{RET\ BGI} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (6)$$

O segundo método de construção das carteiras empregou um spread simples, no qual as ações foram classificadas em quintis com base no total de emissões e na intensidade das emissões de carbono, e a identificação do prêmio de risco carbono no método de spread simples, foi a diferença entre os retornos da carteira do quintil com a maior intensidade de emissões em comparação com o quintil com a intensidade mais baixa. O mesmo método foi repetido em relação às emissões totais, com a formação de 4 carteiras para o segundo método.

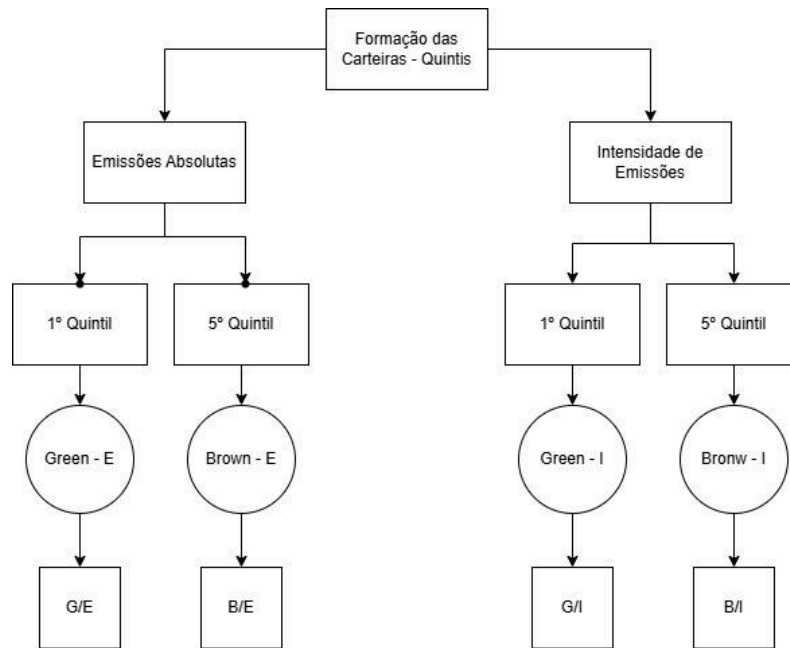


Figura 4. Formação das carteiras baseadas em quintis e spread simples.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Assim, a formação do portfólio baseado no spread simples, considerando, primeiros e últimos quintis resultou na formação de quatro carteiras, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2:
Carteiras baseadas em quintis e spread simples.

Nome das Carteiras	Emissões	Intensidade	Descrição da Carteira
G/E	1º Quintil	-	Verde / Emissão
B/E	5º Quintil	-	Marrom / Emissão
G/I	-	1º Quintil	Verde / Intensidade
B/I	-	5º Quintil	Marrom / Intensidade

Fonte: Elaboração própria.

Novamente, para a verificação da existência de um prêmio de risco carbono no segundo portfólio, foi calculado o retorno médio de cada carteira, após isso, foi calculada a diferença nos retornos das empresas marrons e verdes, conforme as equações abaixo:

$$\overline{RET_{BE}} - \overline{RET_{GE}} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (7)$$

$$\overline{RET\ BI} - \overline{RET\ GI} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (8)$$

Por fim, foi montado o último portfólio com base na participação ou não no índice ICO2 por meio da adoção de variáveis dummy, no qual serão comparados os retornos médios dos dois grupos, com base em um spread ajustado ao tamanho, baseado em tercís de valor de mercado, totalizando 4 carteiras no último portfólio, conforme apresentado no Figura 5.

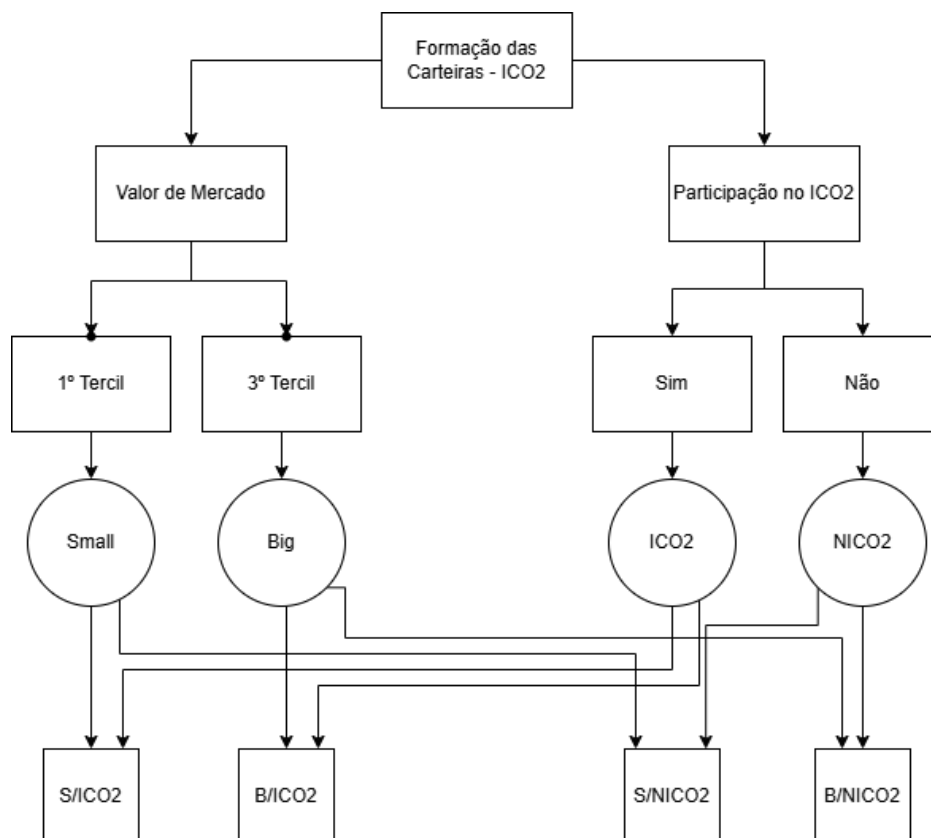


Figura 5. Formação das carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Assim, a formação do terceiro portfólio baseado na participação no ICO2, considerando um spread ajustado ao tamanho, resultou na formação de quatro carteiras conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3:

Carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.

Nome das Carteiras	Valor de mercado	Participação ICO2	Descrição da Carteira
S/ICO2	1º Tercil	Sim	Pequena / Participa ICO2

B/ICO2	3º Tercil	Sim	Grande / Participa ICO2
S/NICO2	1º Tercil	Não	Pequena / Não Participa ICO2
B/NICO2	3º Tercil	Não	Grande / Não Participa ICO2

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para o último portfólio, também foram avaliadas as diferenças entre os retornos das empresas participantes em comparação às não participantes conforme o seu valor de mercado, no qual a identificação do prêmio de risco carbono será a diferença entre os retornos da carteira dos não participantes em relação aos participantes, tanto para o primeiro tercil quanto para o terceiro, conforme apresentado nas equações a seguir:

$$\overline{RET\ SNICO2} - \overline{RET\ SICO2} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (9)$$

$$\overline{RET\ BNICO2} - \overline{RET\ BICO2} = \text{Prêmio de risco carbono} \quad (10)$$

Ao final da aplicação dos três métodos, obteve-se um total de 16 carteiras, recalculadas anualmente durante todo o período analisado, conforme os critérios apresentados anteriormente, buscando a identificação de existência de um prêmio ao risco carbono.

Como medida adicional de robustez na identificação do prêmio, foi avaliada a normalidade das distribuições dos retornos médios de cada carteira, por meio do teste de Shapiro-Wilk. Esse teste é amplamente reconhecido por sua eficácia em amostras pequenas e moderadas e testa a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal. Caso o p-valor resultante do teste seja inferior ao nível de significância de 5%, rejeita-se a normalidade da distribuição, indicando a necessidade de adotar métodos não paramétricos na análise comparativa (Razali & Wah, 2011).

Nos casos em que as diferenças de retorno apresentaram distribuição normal, procedeu-se à aplicação do teste t de Student para amostras emparelhadas. Esse teste, de natureza paramétrica, verifica se a média das diferenças entre os retornos das carteiras é estatisticamente diferente de zero.

Para as diferenças entre carteiras cuja distribuição não atendeu aos requisitos de normalidade, adotou-se o teste de Mann-Whitney U, alternativa não paramétrica equivalente ao teste t para amostras emparelhadas. O teste de Mann-Whitney permite avaliar se as distribuições dos dois grupos diferem significativamente em termos de localização central,

sendo uma alternativa robusta para contextos em que os pressupostos do teste t não são satisfeitos (Siegel & Castellan, 1988).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos a partir da análise econométrica que investiga a relação entre o nível de emissões de carbono e o retorno das ações de empresas listadas na B3 no período de 2019 a 2024. O principal objetivo foi verificar se existe evidência de prêmio de risco carbono no mercado brasileiro, ou seja, se as empresas mais emissoras apresentam retornos superiores. Para isso, foram estimados modelos de dados em painel, permitindo controlar tanto a variação temporal quanto as diferenças entre empresas.

A metodologia segue a literatura recente sobre precificação de riscos ambientais, que considera as emissões de gases de efeito estufa (GEE) como um fator de risco adicional aos modelos tradicionais de formação de preços de ativos (Bolton & Kacperczyk, 2021; Pastor et al., 2022). Dessa forma, a análise empírica buscou compreender se o mercado de capitais brasileiro, reflete em suas cotações das ações, os riscos e oportunidades relacionados ao carbono, tendo em vista o avanço da agenda ESG e a transição para uma economia de baixo carbono.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A amostra foi composta por 90 empresas listadas na B3, com observações anuais no período de 2019 a 2024, resultando em um painel desbalanceado com 408 observações. A heterogeneidade temporal decorre do fato de nem todas as empresas divulgarem relatórios de sustentabilidade em todos os anos, o que é típico de amostras ESG em mercados emergentes.

A variável dependente é o retorno médio anual das ações, ajustado e winsorizado nos extremos (2,5% superior e inferior). Já a variável de interesse principal é a emissão absoluta de carbono, também winsorizada nos extremos (2,5% superior e inferior). O método de winsorização foi adotado para reduzir o impacto de valores atípicos extremos comuns em dados financeiros e ambientais sem eliminar observações relevantes (Baltagi, 2021). Esse procedimento teve como objetivo mitigar o impacto de outliers extremos, que podem distorcer estimativas de regressão e aumentar a variância dos coeficientes, comprometendo a robustez dos resultados. Em dados financeiros, é comum a presença de valores atípicos, seja devido a movimentos extraordinários no mercado de ações, erros de registro ou eventos corporativos incomuns, que podem influenciar desproporcionalmente as análises econométricas (Windmeijer et al., 2008).

A winsorização permite manter a integridade da distribuição central dos dados, preservando as informações da maioria das observações, enquanto limita a influência de

valores extremos que poderiam gerar estimativas enviesadas ou instáveis, principalmente em modelos de painel onde o número de observações é relativamente grande. Diferente da simples exclusão de outliers, essa técnica mantém todos os casos na amostra, evitando a perda de informação relevante e garantindo a consistência dos estimadores (Boudt et al., 2012).

Portanto, a winsorização foi adotada como estratégia de pré-processamento dos dados, assegurando maior robustez das estimativas dos modelos e a confiabilidade das inferências sobre a relação entre emissões de carbono e retornos acionários.

Além disso, foram incluídas três variáveis de controle amplamente reconhecidas na literatura financeira:

- (i) o book-to-market, que mede a relação entre o valor contábil e o valor de mercado da empresa;
- (ii) o logaritmo natural do valor de mercado, representando o tamanho da firma; e
- (iii) o beta de mercado, que captura o risco sistemático do ativo em relação ao mercado.

Essas variáveis são essenciais para evitar viés de omissão e garantir que o efeito das emissões sobre o retorno não esteja refletindo características financeiras básicas das empresas. Estudos anteriores demonstram que empresas com maior valor contábil relativo (alto book-to-market) tendem a apresentar retornos superiores (Fama & French, 1993), enquanto empresas de maior porte (maior valor de mercado) costumam ter retornos menores devido à sua menor volatilidade (Pastor et al., 2022).

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no estudo. A amostra final foi composta por um painel desbalanceado abrangendo 521 observações de empresas listadas na B3 no período de 2019 a 2024.

Tabela 1:

Estatísticas descritivas das variáveis do estudo após a winsorização.

Variável	n	Média	Mín	1° Q	Mediana	3° Q	Máx
Retorno	520	0,47	-11,53	-1,79	0,38	2,80	11,67
Emissões	415	1581321	811	33,99	231530	949638	11979235
Book-to-Market	515	2,52	-94,62	1,05	1,70	2,79	48,90
ln valor mercado	521	16,37	12,57	15,50	16,35	17,17	20,06

Beta	517	1,00	-0,27	0,67	0,93	1,26	3,00
------	-----	------	-------	------	------	------	------

Fonte: Elaboração própria (2025).

Analisando as estatísticas descritivas, verifica-se que a variável dependente retorno apresentou média positiva (0,47%) com ampla variação entre os percentis (-11,53% a 11,67%), demonstrando grandes variações no mercado no período analisado. A variável independente principal do estudo, as emissões absolutas, exibe distribuição altamente assimétrica, com média de 1.581.321 tCO₂e, porém mediana de 231.530 tCO₂e, indicando a presença de valores extremos na amostra, justificando o procedimento de winsorização aplicado, tal assimetria se deve a heterogeneidade das empresas que compõe a amostra.

O índice book-to-market apresentou média de 2,52, com 75% das observações concentradas abaixo de 2,79, indicando potencial de crescimento futuro do mercado brasileiro. O logaritmo do valor de mercado mostrou distribuição relativamente simétrica em torno da média de 16,37 (equivalente a aproximadamente R\$ 12.9 bilhões). Já o beta das empresas apresentou média próxima a 1 (0,996), variando de -0,27 a 3,00, indicando heterogeneidade no risco sistemático das empresas da amostra.

Tabela 2:
Correlação entre as variáveis do modelo.

Variável	Retorno	Emissões	Book-to-mark et	ln valor de mercado	Beta
Retorno	1,000				
Emissões	0,113**	1,000			
Book-to-market	0,105**	-0,159**	1,000		
ln valor de mercado	0,102**	0,367***	0,123**	1,000	
Beta	-0,349***	-0,021	-0,092*	-0,234***	1,000

Nota: *, **, *** indicam significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis do modelo, permitindo uma análise preliminar das relações lineares bivariadas. Os resultados

revelam padrões interessantes que merecem destaque, tanto pelas suas significâncias estatísticas quanto pelas suas implicações teóricas.

Verificou-se em relação ao risco-retorno um achado particularmente interessante, uma correlação negativa de -0,349 ($p < 0,01$) entre o beta e retorno. Este resultado contradiz o postulado fundamental do CAPM (Capital Asset Pricing Model), que estabelece uma relação positiva entre risco sistemático e retorno esperado (Sharpe, 1964; Lintner, 1965). Tal evidência alinha-se com o "paradoxo do beta" documentado em diversos mercados emergentes, onde ações de alto risco tendem a apresentar desempenho inferior, possivelmente devido a imperfeições de mercado ou comportamentos de investidores não racionais (Fama & French, 1992).

A variável de emissões absolutas demonstrou correlações economicamente relevantes. A correlação positiva de 0,367 ($p < 0,01$) com ln valor de mercado estabelece a ideia de que empresas de maior porte tendem a ter maiores níveis de emissões de carbono. Ademais, a correlação positiva de 0,113 ($p < 0,05$) com o retorno fornece evidências preliminares sobre a possibilidade de existência de um prêmio de risco carbono no mercado brasileiro.

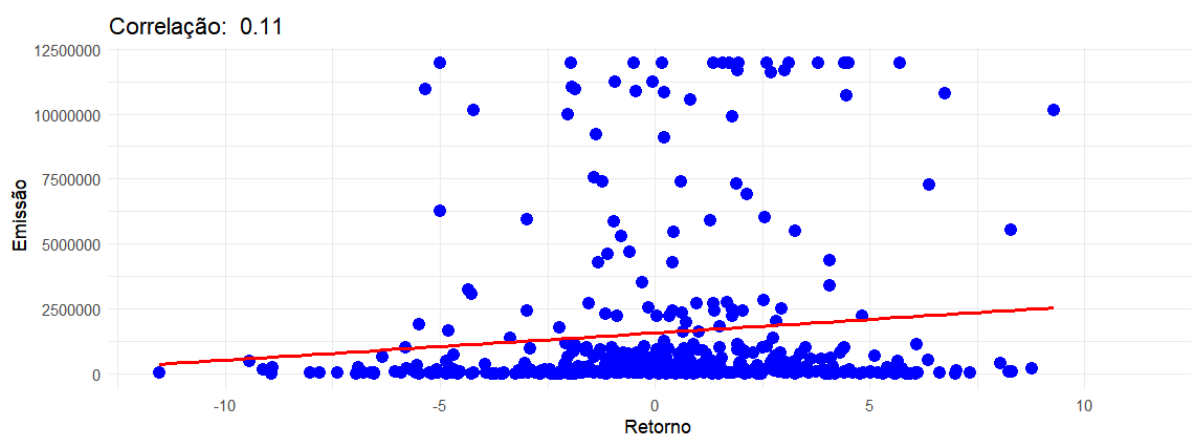


Figura 6. Dispersão das variáveis.

Fonte: Elaboração própria (2025).

O índice book-to-market exibiu um padrão de correlações moderadas, porém significativas. A correlação positiva de 0,105 ($p < 0,05$) com retorno oferece suporte inicial à tese do "efeito valor", onde empresas com alto book-to-market tendem a gerar retornos superiores (Rosenberg, Reid & Lanstein, 1985). Esta evidência é consistente com os fatores de risco identificados por Fama e French (1993) em seu modelo de três fatores.

Cumprе ressaltar que a análise das correlações inter variáveis não revelou associações suficientemente fortes que possam configurar problemas de multicolinearidade no modelo de regressão, conforme os critérios estabelecidos por Kennedy (2008), que

sugere preocupação com correlações superiores a 0,80. A maior correlação observada entre variáveis independentes foi de 0,367 (emissões e valor de mercado), situando-se em patamar considerado seguro para procedimentos de estimação multivariada.

4.2 RESULTADOS DA MODELAGEM ECONOMETRICA

A estimação foi conduzida por meio do método dos mínimos quadrados para dados em painel. Três modelos foram considerados: o modelo agrupado (Pooled OLS), o modelo de efeitos fixos (FE) e o modelo de efeitos aleatórios (RE). O modelo agrupado assume que todas as observações são homogêneas, ignorando diferenças não observadas entre as empresas. Já o modelo de efeitos fixos permite que cada empresa possua um intercepto próprio, controlando por características inobserváveis invariantes no tempo (como estrutura de governança, cultura organizacional e setor de atuação). O modelo de efeitos aleatórios, por sua vez, supõe que essas diferenças são aleatórias e não correlacionadas com as variáveis explicativas (Wooldridge, 2010).

Antes da análise dos parâmetros, foram realizados testes de especificação para definir a modelagem mais adequada aos dados. Os resultados encontram-se sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3:
Testes de Especificação do Modelo.

Teste	Objetivo	Estatística	p-valor	Decisão
F de Chow	Pooling vs. Efeitos Fixos	$F = 0,7626$	0,9359	Modelo Pooling
Breusch-Pagan	Pooling vs. Efeitos Aleatórios	$\chi^2 = 3,2927$	0,0696	Modelo Pooling
Hausman	Efeitos Fixos vs. Aleatórios	$\chi^2 = 7,5848$	0,1080	Modelo de Efeitos Aleatórios
Breusch-Godfrey	Autocorrelação	$\chi^2 = 3,6423$	0,05633	Ausência de Autocorrelação
Breusch-Pagan	Heterocedasticidade	$BP = 22,871$	0,00013	Presença de Heterocedasticidade

Fonte: Elaboração própria (2025).

A escolha entre as especificações foi orientada por testes formais. O Teste F de Chow comparou o modelo de efeitos fixos com o modelo agrupado, apresentando p-valor = 0,9359. Como o p-valor foi muito superior a 0,05, não há evidência estatística de que existam efeitos fixos significativos, indicando que o modelo Pooled é preferível ao modelo de Efeitos Fixos.

Similarmente, o Teste de Breusch-Pagan avaliou a necessidade de efeitos aleatórios em relação ao modelo agrupado, apresentando p-valor = 0,0696, também não sendo estatisticamente significativo ao nível de 5%, sugerindo que a variância entre empresas é desprezível, indicando uma melhor adequação do modelo Pooled em relação ao de Efeitos Aleatórios.

Por fim, o Teste de Hausman comparou a consistência dos modelos de efeitos fixos e aleatórios, apresentando p-valor = 0,108, indicando ausência de correlação sistemática entre os efeitos individuais e as variáveis explicativas. Contudo, uma vez que ambos os testes anteriores já haviam indicado ausência de efeitos específicos relevantes, a decisão final recai sobre o modelo agrupado (Pooled OLS) como a especificação mais parcimoniosa e estatisticamente adequada.

Esses resultados são consistentes com estudos que analisam painéis ESG em mercados emergentes, no qual a heterogeneidade entre firmas tende a ser pequena quando controladas as principais variáveis financeiras (Busch et al., 2018; Bolton & Kacperczyk, 2021). Assim, o modelo Pooled permite capturar o efeito médio das emissões de carbono sobre o retorno acionário, sem necessidade de controlar interceptos individuais.

4.3 DIAGNÓSTICOS E AJUSTES DE ROBUSTEZ

Após a definição do modelo adequado, foram realizados testes de diagnóstico para verificar os pressupostos de homocedasticidade e independência dos resíduos. Primeiramente o teste diagnóstico de Breusch–Godfrey/Wooldridge, que apontou a ausência de autocorrelação ($X^2 = 3,6423$; p-valor = 0,05633). Em seguida foi realizado o Teste Breusch-Pagan que apontou heterocedasticidade nos resíduos do modelo (BP = 22,871 p-valor < 0,01).

Essa violação não compromete a consistência dos coeficientes, mas tornam inválidos os erros-padrão convencionais e, conseqüentemente, os testes de significância. Para corrigir isso, os erros-padrão foram ajustados utilizando a matriz de covariância robusta de White (HC1), clusterizada por empresa. Essa abordagem corrige a presença de heterocedasticidade dentro dos grupos (Baltagi, 2021; Wooldridge, 2010), assegurando inferências estatísticas consistentes.

Esse tipo de ajuste é amplamente utilizado em estudos empíricos sobre desempenho ESG (Bauer et al., 2022; Pastor et al., 2022), pois os dados financeiros e ambientais frequentemente exibem dependência temporal e variabilidade entre empresas.

4.4 RESULTADOS DO MODELO POOLED OLS APÓS CORREÇÃO

Para garantir a robustez das inferências, os erros-padrão foram corrigidos por meio do estimador de matriz de covariância robusta à heterocedasticidade, clusterizada por empresa, conforme recomendação de Wooldridge (2010) e Baltagi (2021) para dados em painel com possíveis violações de homocedasticidade e independência entre as observações de uma mesma unidade. Essa abordagem assegura que os testes de significância dos coeficientes sejam consistentes, mesmo na presença de heterogeneidade e autocorrelação nas empresas ao longo do tempo.

Os resultados das estimações pelo modelo Pooled OLS com erros-padrão robustos, são apresentados na Tabela 4. A discussão dos resultados baseia-se nesse modelo, considerado o mais adequado pelos testes de especificação, uma vez que o teste F de Chow, o teste Breusch–Pagan LM e o teste de Hausman indicaram ausência de efeitos fixos ou aleatórios significativos.

Tabela 4:
Resultados das Regressões em Painel com erros robustos.

Variável	Coeficiente	Erro Padrão Robusto	Estatística t	p-valor
Intercepto	-1,4153	2,7036	-0,5235	0,6009
Emissões	9,283e-08	4,274e-08	2,1718	0,0305 *
Book-to-Market	0,0489	0,0179	2,7387	0,0064 **
ln valor de mercado	0,2301	0,1530	1,5036	0,1335
Beta	-2,4423	0,3508	-6,9622	<0,0001 ***
Observações (N)	408			
Empresas (n)	90			
R ² Ajustado	0,1503			

F-statistic 19.00***

Nota: Erros padrões robustos clusterizados por empresas. *, **, *** indicam significância aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente.*

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados do modelo Pooled com erros robustos, confirmado como o mais adequado pelos testes de especificação, revelaram relações estatisticamente significantes entre as variáveis explicativas e o retorno das ações.

O modelo final é altamente significativo como um todo ($F = 19,00$, $p\text{-valor} < 0,01$) e explicou aproximadamente 15% da variação dos retornos das ações (R^2 ajustado = 0,1503). Embora a proporção explicada seja moderada, o resultado é consistente com estudos empíricos sobre retornos acionários, nos quais o comportamento de preços é influenciado por múltiplos fatores não observáveis.

A variável beta, que representa o risco sistemático da empresa em relação ao mercado, apresentou coeficiente negativo e altamente significativo ($\beta = -2,4423$, $p\text{-valor} < 0,001$). Esse resultado indica uma relação inversa entre risco de mercado e retorno esperado, contrariando a previsão tradicional do Capital Asset Pricing Model (CAPM) de que ativos com maior beta deveriam oferecer retornos mais altos (Sharpe, 1964). Esse achado, embora contraintuitivo, não é inédito em períodos de instabilidade ou em mercados emergentes (Fama & French, 1992). Estudos como Pastor et al. (2022) apontam que, em contextos de alta incerteza, investidores tendem a buscar ativos menos voláteis, o que pode gerar retornos negativos para ativos de risco elevado.

Além disso, o período analisado (2019 a 2024) inclui choques relevantes, como a pandemia de COVID-19 e a intensificação das discussões climáticas e ESG, o que pode ter alterado temporariamente a relação risco e retorno. Nesse contexto, a forte significância do coeficiente negativo beta pode refletir mudanças estruturais no comportamento do investidor brasileiro, com preferência por empresas mais estáveis e com menor exposição a risco sistêmico.

A variável book-to-market apresentou coeficiente positivo e significativo ($\beta = 0,0489$, $p\text{-valor} = 0,0064$), reforçando a validade empírica do efeito valor proposto por Fama e French (1993). Esse resultado indica que empresas com maior valor contábil em relação ao valor de mercado, tendem a apresentar retornos superiores. No contexto da presente pesquisa, esse achado sugere que características fundamentais de avaliação continuam sendo um determinante relevante do retorno acionário, mesmo quando se controla por fatores ambientais e de risco de mercado.

A variável logaritmo natural do valor de mercado apresentou coeficiente positivo ($\beta = 0,2301$) e não significativo ($p\text{-valor} = 0,1335$). Apesar de o sinal positivo sugerir que

empresas de maior porte obtêm retornos ligeiramente superiores, o resultado indica que o efeito tamanho não é estatisticamente relevante na amostra analisada. A ausência de significância pode decorrer da forte concentração da amostra em grandes empresas emissoras, reduzindo a variabilidade dessa variável e limitando a capacidade de detecção de efeitos sistemáticos de porte.

A variável emissão absoluta de carbono, principal foco da análise, apresentou coeficiente positivo e estatisticamente significativo ($\beta = 9,283 \times 10^{-8}$, p-valor = 0,0305). Entretanto, vale destacar que o coeficiente está muito próximo de zero, indicando uma relação nula para variável carbono como fator explicativo do retorno. Apesar do coeficiente positivo encontrado, esse resultado obtido não é suficiente para confirmar a existência de uma relação positiva entre emissões de carbono e retorno acionário no período analisado, logo, rejeita-se a hipótese 1 do estudo. Em outras palavras, empresas com maiores níveis de emissões apresentaram, em média, retornos superiores, mesmo após o controle por tamanho, valor e risco sistemático, indicando a possibilidade futura de existência de um prêmio de risco carbono no mercado brasileiro.

O coeficiente estatisticamente não significativo encontrado sugere que as variações na precificação dos ativos são mais bem explicadas por choques contemporâneos nas preferências dos investidores e por preocupações sociais relacionadas às mudanças climáticas do que por um mecanismo de precificação do risco carbono plenamente estabelecido, em linha com a interpretação proposta por Zhang (2022).

Tal evidência, sinaliza que o mercado acionário brasileiro ainda não penaliza financeiramente as emissões de carbono, ao contrário, empresas mais intensivas em emissões apresentam retornos superiores, o que pode ser interpretado como a sinalização de existência de um prêmio de risco carbono.

Segundo Bolton e Kacperczyk (2021c), esse prêmio reflete a compensação exigida pelos investidores para deter ativos expostos a riscos climáticos, uma vez que empresas com maiores emissões enfrentam potenciais custos futuros de regulação e desvalorização de ativos intensivos em carbono. Assim, retornos mais elevados são esperados não por preferência dos investidores, mas como recompensa pelo risco adicional.

Os resultados desta pesquisa demonstraram padrões que dialogam diretamente com a literatura internacional. Semelhantemente, Bolton e Kacperczyk (2021c) identificaram, para o mercado acionário dos Estados Unidos, coeficientes positivos e de baixa magnitude na relação entre emissões e retornos. Especificamente, os autores reportam coeficientes próximos de zero para os três escopos de emissões: $\beta = 0,056$ para o Escopo 1, $\beta = 0,088$ para o Escopo 2 e $\beta = 0,121$ para o Escopo 3, todos indicando uma associação positiva, embora economicamente modesta, entre o nível de emissões corporativas e o retorno acionário. Esses achados reforçam que, embora exista algum grau

de precificação do risco relacionado ao carbono, seu efeito tende a ser limitado, situando-se em linha com o que se observa no presente estudo.

Já Zhang (2022), encontrou uma relação negativa e também próxima de zero entre ao investigar o mercado acionário americano, no qual obteve os seguintes coeficientes ao analisar a relação de retorno e emissões: $\beta = -0,25$ para o Escopo 1, $\beta = -0,25$ para o Escopo 2 e $\beta = -0,19$ para o Escopo 3, todos indicando uma associação negativa. Vale destacar que Zhang (2022), adotou uma estratégia de defasagem nos dados de emissões, refletindo o momento real que os investidores têm acesso a essa informação.

Em mercados maduros, a literatura aponta que essa relação tende a enfraquecer à medida que as políticas de precificação de carbono e as práticas ESG se consolidam (Bolton & Kacperczyk, 2023; Busch et al., 2018). No Brasil, entretanto, a relação positiva observada pode refletir tanto esse prêmio de risco carbono quanto a estrutura setorial concentrada da B3, dominada por empresas de grande porte e alta intensidade de emissões, especialmente nos setores de energia, siderurgia e petróleo, cujos resultados financeiros robustos e liquidez elevada sustentam retornos mais altos no curto prazo.

Além disso, em um ambiente institucional em que a precificação de carbono ainda está em estágio inicial, as emissões não representam um passivo financeiro imediato, mas sim um indicador indireto de escala e capacidade produtiva. Nesse sentido, o resultado encontrado pode ser interpretado como evidência de que o risco climático ainda não foi incorporado de forma sistemática na avaliação dos investidores domésticos. Esse padrão é coerente com o argumento de Pastor et al. (2022) de que a integração das informações ESG aos preços de mercado ocorre gradualmente e depende da maturidade institucional e da disponibilidade de dados padronizados.

De modo geral, os resultados reforçam a ideia de que o mercado acionário brasileiro ainda está em fase incipiente de integração dos riscos climáticos à precificação dos ativos. O coeficiente positivo e significativo das emissões aponta que os investidores não penalizam empresas de maior emissão, mas, ao contrário, parecem associar maior retorno às companhias mais intensivas em carbono. Essa evidência pode ser interpretada como um prêmio de risco carbono, em que empresas de maior emissão são recompensadas por estarem inseridas em setores estratégicos da economia e com maior capacidade de geração de valor no curto prazo.

Sob a ótica do prêmio de risco carbono (Bolton & Kacperczyk, 2021c), a ausência de efeito negativo das emissões pode indicar que os investidores brasileiros ainda não percebem as emissões como uma fonte de risco sistemático. Em mercados desenvolvidos, onde há regulação ambiental consolidada e cobrança de preço sobre o carbono, empresas intensivas em emissões sofrem desconto em seus valuations devido às expectativas de custos futuros e riscos reputacionais. No Brasil, entretanto, a ausência de um mercado

regulado de carbono plenamente operacional, até a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), reduz os incentivos econômicos à precificação desse risco.

Sob a perspectiva da teoria dos stakeholders (Freeman, 1984), o resultado sugere que as relações entre empresas, sociedade e investidores ainda não internalizam plenamente as externalidades ambientais. A falta de sensibilidade do mercado pode refletir uma lacuna informacional e um baixo engajamento institucional em relação à sustentabilidade corporativa. Nesse contexto, a divulgação ambiental e social ainda tem caráter voluntário e, portanto, não exerce pressão suficiente para alterar significativamente as expectativas dos investidores.

Esses resultados têm implicações teóricas e práticas relevantes. Do ponto de vista acadêmico, reforçam o argumento de que o processo de incorporação dos riscos climáticos nos preços de ativos é gradual e heterogêneo entre mercados (Pastor et al., 2022). Sob a ótica da política pública, destacam a importância da consolidação do SBCE e de marcos regulatórios que incentivem a transparência e a internalização dos custos ambientais.

5. PRÊMIO DE RISCO CARBONO COM BASE NO DESEMPENHO DAS CARTEIRAS

A construção e análise do desempenho das carteiras formadas com base nas emissões de carbono, teve como principal objetivo investigar a existência de um risco carbono sistemático no mercado acionário brasileiro, isto é, verificar se as diferenças nas emissões corporativas estão associadas a diferenças persistentes nos retornos esperados das ações. A identificação desse risco é fundamental para compreender o estágio de maturidade do mercado brasileiro em relação à transição climática e à internalização de externalidades ambientais nos preços dos ativos.

5.1 DESEMPENHO DAS CARTEIRAS FORMADAS EM TERCIS

O primeiro método de construção das carteiras utilizou como base a metodologia aplicada por Bauer et al. (2022), a sua abordagem consiste na construção de carteiras baseadas em tercis, considerando um spread ajustado ao tamanho, classificando inicialmente as empresas em pequenas ou grandes em relação ao seu valor de mercado. Em seguida as empresas foram divididas em dois grupos, “verdes” ou “marrons” de acordo com seus níveis de emissões totais de carbono e também em relação a intensidades de emissões, conforme apresentado na Figura 3.

As carteiras foram formadas considerando simultaneamente o tamanho das firmas e seus níveis de emissões, tanto em termos absolutos, quanto relativos à receita, levando em conta o primeiro e último tercil. Foram assim, constituídas as carteiras BBE, BGE, BBI, BGI, SBE, SGE, SBI e SGI, representando combinações entre porte e perfil ambiental. Essa metodologia, amplamente utilizada em estudos de precificação de fatores (Fama & French, 2015; Bauer et al., 2022), permite identificar se o carbono se comporta como um fator de risco adicional.

Após a aplicação do procedimento de formação das carteiras, considerando apenas as empresas que possuíam dados disponíveis para o período analisado, obtiveram-se as seguintes composições das carteiras, conforme apresentado na Tabela 12.

Ao observar o desempenho mensal de cada carteira, os anos de 2019 e 2020 mostraram grande flutuação entre as carteiras, especialmente durante os meses de março e abril de 2020, quando a crise global gerada pela pandemia acarretou perdas expressivas em todos os grupos. As maiores perdas ocorreram nas carteiras S/G/I (-24,78%) e S/G/E (-24,73%), ambas compostas por empresas pequenas e de menor nível de emissões.

A partir do segundo semestre de 2020, observou-se uma recuperação expressiva nas carteiras, especialmente entre as empresas “marrons”, que se beneficiaram da valorização dos setores de energia, petróleo e mineração, segmentos que concentram os

maiores emissores de carbono da amostra. As carteiras S/B/E e B/B/E registraram vários meses consecutivos de retornos positivos superiores a 10%, refletindo a recomposição dos preços de commodities e o reaquecimento das atividades industriais.

Nos anos seguintes, especialmente entre 2022 e 2023, o comportamento dos retornos foi novamente marcado por alta volatilidade, com sucessivos meses negativos. Entretanto, o padrão geral se manteve: as carteiras “marrons” continuaram apresentando desempenho médio superior às “verdes”, e as carteiras de empresas menores mantiveram os retornos mais voláteis, com maiores ganhos em períodos de expansão e maiores perdas em momentos de correção.

Quadro 4:

Desempenho mensal das carteiras baseada em tercís e spread ajustado ao tamanho.

Data	B/B/E	B/B/I	B/G/E	B/G/I	S/B/E	S/B/I	S/G/E	S/G/I
01/2019	14,78	13,94	4,41	3,70	11,58	11,04	18,71	18,71
02/2019	0,97	1,17	-5,52	-3,93	5,92	3,70	-6,48	-6,48
03/2019	2,10	3,85	-1,40	-1,79	4,40	2,45	-2,39	-2,39
04/2019	-5,11	-4,44	8,40	3,59	-5,00	-1,84	-3,40	-3,40
05/2019	-4,42	-2,90	4,04	3,08	8,10	7,21	10,20	10,20
06/2019	-0,25	-0,64	6,24	1,77	8,65	7,96	12,60	12,60
07/2019	1,81	1,83	11,76	9,03	7,10	5,35	8,95	8,95
08/2019	-3,27	-3,18	2,71	0,10	-5,42	-5,00	-0,25	-0,25
09/2019	4,26	2,52	1,38	1,51	-0,60	0,40	4,45	4,45
10/2019	-0,04	0,41	7,43	4,47	2,21	0,00	-1,99	-1,99
11/2019	-0,93	-2,42	3,32	2,56	3,99	5,05	4,46	4,46
12/2019	8,70	9,10	9,04	8,97	11,05	10,46	15,11	15,11
01/2020	-0,75	0,30	12,66	12,19	-1,72	-0,47	-2,40	-1,26
02/2020	-8,50	-8,82	-4,84	-5,10	-10,31	-7,94	-7,93	-5,28
03/2020	-16,85	-23,12	-22,49	-19,49	-23,27	-23,77	-24,73	-24,78
04/2020	10,00	12,79	19,12	16,17	8,43	12,71	11,46	13,30
05/2020	13,45	16,62	10,75	9,95	8,58	6,43	2,17	1,92
06/2020	3,30	4,86	9,00	8,17	19,88	18,23	9,55	7,18
07/2020	9,30	7,85	12,27	11,98	1,86	0,19	1,86	2,96
08/2020	-2,49	-8,19	-1,44	-2,14	1,95	2,43	-3,15	-2,48
09/2020	-9,17	-10,96	-4,60	-5,15	-6,11	-5,22	-12,51	-10,05
10/2020	-0,59	-3,51	-1,25	-1,45	2,03	1,34	-2,43	-1,81
11/2020	13,08	9,57	5,78	5,74	16,62	17,72	16,14	14,48
12/2020	5,96	6,56	4,81	4,75	3,84	3,01	2,56	1,99
01/2021	-3,35	-3,97	-0,95	-1,15	-7,94	2,00	-1,88	-4,02
02/2021	-0,77	-0,05	-6,04	-5,84	-4,43	-0,02	-5,18	-4,56

03/2021	7,41	7,40	-2,15	-1,67	9,01	4,63	8,29	7,48
04/2021	7,00	7,35	1,27	1,12	6,32	7,44	6,98	7,14
05/2021	4,74	2,46	1,63	1,75	3,58	5,81	12,10	10,43
06/2021	-3,96	-4,08	-1,74	-2,40	-6,80	-3,67	-0,79	-1,14
07/2021	-1,66	-1,35	-3,61	-3,32	-2,37	-6,11	-1,80	-1,75
08/2021	-3,41	-3,46	-4,80	-3,59	-3,93	-2,64	-4,82	-3,89
09/2021	-8,14	-6,72	-9,39	-8,44	0,86	0,17	-6,10	-7,07
10/2021	-5,11	-7,32	-11,35	-9,39	-9,64	-4,28	-15,30	-14,25
11/2021	0,57	2,27	-5,35	-3,86	-1,29	-5,12	-2,26	-3,05
12/2021	5,24	5,02	2,27	1,93	7,25	8,21	7,08	6,26
01/2022	1,48	0,75	3,75	1,74	7,44	4,36	9,45	7,66
02/2022	-3,21	-2,11	-2,03	0,07	-7,64	-5,37	-11,52	-12,39
03/2022	8,46	7,06	5,68	5,74	-1,11	3,22	7,07	8,53
04/2022	-6,66	-7,82	-16,34	-16,42	-3,94	-0,12	-15,04	-16,19
05/2022	5,57	7,25	-3,04	-3,90	1,12	4,71	0,03	-0,36
06/2022	-12,14	-10,82	-15,08	-14,93	-15,41	-14,34	-16,22	-16,40
07/2022	2,70	3,45	7,17	7,51	-2,36	-1,65	7,75	9,30
08/2022	3,33	2,57	8,37	4,85	6,20	9,96	9,98	8,35
09/2022	-5,07	-3,82	1,79	0,03	-6,86	-7,20	4,57	6,11
10/2022	6,70	7,00	7,01	6,09	9,55	15,08	2,53	0,48
11/2022	2,32	5,16	-16,51	-14,98	-4,58	-4,93	-20,44	-20,98
12/2022	-2,83	-3,66	-4,21	-2,96	-1,75	-2,56	-3,08	-5,36
01/2023	1,70	4,02	8,21	8,35	1,63	5,93	1,72	2,82
02/2023	-4,86	-5,30	-6,51	-9,73	-11,01	-11,51	-11,83	-12,05
03/2023	-2,59	-3,83	1,38	-2,09	3,41	4,46	5,05	8,45
04/2023	0,60	-0,15	6,09	0,86	0,08	2,60	9,63	9,29
05/2023	5,26	5,03	8,43	4,99	15,75	18,10	19,79	20,43
06/2023	7,70	5,99	1,74	6,87	12,12	6,12	4,86	3,90
07/2023	4,77	5,78	-2,23	3,43	-4,39	-0,29	9,45	9,65
08/2023	-3,90	-2,04	-8,10	-12,75	-2,78	-3,20	-9,00	-7,99
09/2023	0,18	1,25	-6,79	-7,59	-2,50	-1,04	-5,15	-7,26
10/2023	-3,67	-3,95	-12,18	-9,42	-4,10	-8,65	-12,66	-12,57
11/2023	7,21	8,30	14,98	16,39	12,01	5,57	14,01	17,39
12/2023	6,51	5,99	4,09	4,87	5,99	7,71	5,89	4,72
01/2024	-3,58	-3,28	-7,53	-4,62	-14,42	-8,32	-13,02	-12,41
02/2024	0,72	2,80	4,11	4,04	1,30	5,36	4,78	5,79
03/2024	0,00	1,89	1,64	-1,21	-5,03	-2,10	0,74	-3,25
04/2024	-3,29	-2,43	-6,17	-4,14	0,28	-3,38	-10,43	-11,81
05/2024	-3,70	-5,12	-8,40	-6,05	0,97	-5,99	-5,12	-5,38
06/2024	2,82	3,86	-1,64	-0,65	-1,21	0,18	-8,09	-8,27

07/2024	1,20	2,26	5,03	6,85	1,22	2,95	1,46	-0,63
08/2024	4,06	2,59	-0,36	4,25	0,92	6,41	6,09	7,89
09/2024	-2,42	-3,21	-5,55	-3,29	0,04	1,81	-9,04	-8,34
10/2024	-2,83	-1,42	-2,38	-3,35	0,55	-3,76	1,42	2,09
11/2024	0,36	2,49	-7,12	-6,59	3,33	2,92	-7,87	-10,40
12/2024	-5,86	-2,75	-10,96	-9,09	-2,56	-7,71	-12,80	-12,93

Nota: Os valores em negrito representam a carteira de melhor desempenho no mês.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Durante o período analisado, as carteiras apresentaram comportamento volátil, refletindo o contexto macroeconômico brasileiro, que sofreu com o aumento na taxa de juros, choques de commodities, e a alta sensibilidade setorial das empresas intensivas em emissões.

Apesar disso, o padrão médio dos retornos evidencia de forma consistente um melhor desempenho das carteiras “marrons” em comparação às “verdes”, tanto entre empresas grandes, quanto pequenas, conforme observa-se na Figura 7.

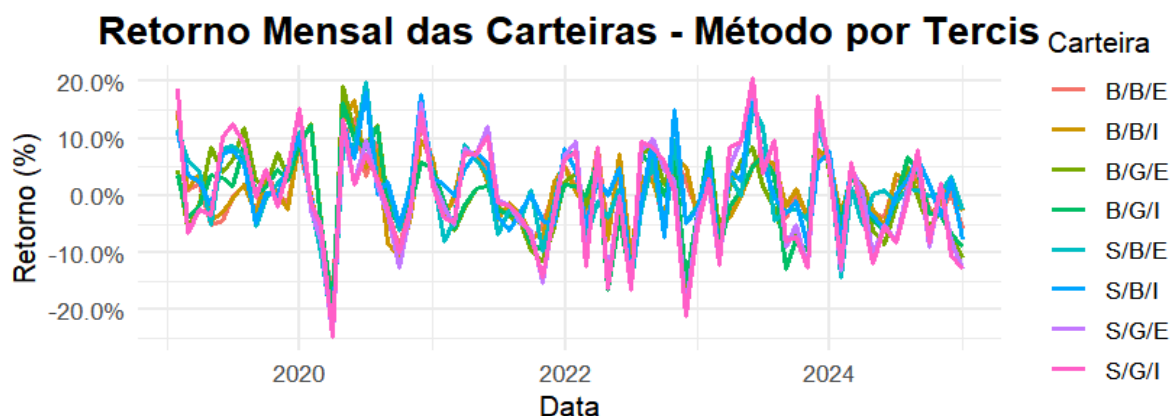


Figura 7. Desempenho mensal das carteiras baseadas em tercis e spread ajustado ao tamanho.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Como forma de testar empiricamente a existência de um prêmio de risco carbono no mercado brasileiro, se fez necessário um comparativo dos retornos médios de cada carteira em todo período analisado (Bauer et al., 2022). No qual foram calculadas as diferenças médias de retorno entre carteiras, sendo observados desempenhos superiores nas carteiras compostas por empresas com maiores níveis de emissões de carbono, indicando a presença de um prêmio de risco carbono sistemático no mercado brasileiro.

Resultados do prêmio de risco carbono

$$\overline{RET\ SBE\ (0,79\%)} - \overline{RET\ SGE\ (0,03\%)} = 0,76\ p.p. \text{ Prêmio de risco carbono}$$

$$\overline{RET\ BBE\ (0,57\%)} - \overline{RET\ BGE\ (-0,03\%)} = 0,60\ p.p. \text{ Prêmio de risco carbono}$$

$$\overline{RET\ SBI\ (1,29\%)} - \overline{RET\ SGI\ (-0,06\%)} = 1,35\ p.p. \text{ Prêmio de risco carbono}$$

$$\overline{RET\ BBI\ (0,62\%)} - \overline{RET\ BGI\ (-0,18\%)} = 0,80\ p.p. \text{ Prêmio de risco carbono}$$

Como medida adicional de robustez, foram realizados testes estatísticos para avaliar se as diferenças de retorno entre as carteiras no período foram significativas. Primeiramente foi verificada a normalidade de distribuição dos retornos por meio do teste de Shapiro-Wilk, no qual foi identificado que a diferença entre as carteiras baseadas em um spread ajustado ao tamanho, seguem distribuição normal, conforme se verifica na tabela 5.

Tabela 5:
Resultados do teste de Shapiro-Wilk - Portfólio 1.

Diferença entre Carteiras	p-valor
SBE - SGE	0,683
BBE - BGE	0,484
SBI - SGI	0,641
BBI - BGI	0,116

Fonte: Elaboração própria (2025).

Diante dos resultados obtidos no teste de Shapiro-Wilk, que indicou a normalidade da amostra, procedeu-se à verificação estatística por meio da aplicação do teste T, no qual apenas a diferença entre as carteiras SBI - SGI apresentou significância estatística ao nível de 10%, as demais diferenças, não são estatisticamente suficientes para confirmar a existência de um prêmio de risco carbono no mercado brasileiro conforme resultados apresentados na Tabela 6, logo, aceita-se parcialmente H_2 .

Tabela 6:
Resultados do teste-T - Portfólio 1.

Diferença entre Carteiras	Estatística-t	p-valor
SBE - SGE	1,060	0,292

BBE - BGE	0,845	0,400
SBI - SGI	1,850	0,068
BBI - BGI	1,252	0,214

Fonte: Elaboração própria (2025).

Comparando os resultados obtidos com o estudo Bauer et al. (2022), verificam-se diferenças significativas em comparação com os Estados Unidos, no qual foi identificado melhor desempenho das empresas “verdes”, com diferenças de -0,25 na métrica de emissões absolutas e -0,33 em relação à intensidade de emissões.

Bauer et al. (2022), também investigou a existência de um prêmio de risco carbono nos demais países do G7, no qual apenas a Itália apresentou desempenho superior das empresas marrons tanto na métrica de emissões absolutas (0,49) e na métrica de intensidade de emissões (0,33), sendo o único país com evidências de um prêmio carbono positivo no grupo dos países mais desenvolvidos.

O mercado brasileiro converge com a literatura internacional recente (Aswani et al., 2024; Bolton & Kacperczyk, 2023; Pástor et al., 2021). Enquanto esses estudos encontraram evidências sensíveis à métrica utilizada, com diferenças importantes de resultados entre emissões absolutas e intensidade de emissões, os achados desta dissertação demonstram resultados consistentes apenas na métrica de intensidade de emissões, reforçando a dicotomia sobre qual indicador captura de forma mais eficaz o impacto ambiental corporativo.

Aswani et al. (2024) argumentam que, ao utilizar a intensidade de emissões (emissões ajustadas por receita), a relação entre CO₂ e retorno acionário desaparece, sugerindo que investidores penalizam emissões absolutas, mas não emissões relativas. Por outro lado, Bolton e Kacperczyk (2023) argumentam que a intensidade é uma métrica enganosa, por diluir artificialmente o risco climático de empresas altamente poluentes que possuem receitas elevadas, mascarando sua verdadeira exposição ao carbono.

Entretanto, no caso brasileiro, apesar de serem observados desempenhos parecidos nas duas métricas, apenas a intensidade de emissões apresentou significância estatística no mercado brasileiro, sugerindo que o mercado local diferencia essas formas de mensuração. Tal achado pode ser atribuído à existência do ICO2, que utiliza como métrica de participação no índice a intensidade de emissões.

A constatação de retornos superiores das empresas “marrons” está alinhada à literatura internacional que trata sobre a existência de um prêmio de risco carbono. Segundo Bolton e Kacperczyk (2021, 2023), o retorno adicional obtido por empresas mais poluentes representa uma compensação pela exposição dos investidores ao risco climático. O prêmio

carbono positivo identificado, é geralmente observado em mercados onde as políticas de precificação do carbono e a integração de aspectos ESG ainda são incipientes, realidade atual do mercado brasileiro.

Diferentemente do que ocorre em economias desenvolvidas, esse risco não se traduz em penalização nos preços dos ativos, mas sim em remuneração adicional. Estudos como o de Busch et al. (2018) e Pastor et al. (2022) mostram que, em mercados com maior conscientização ambiental e regulação consolidada, o sinal do prêmio tende a ser negativo (greenium): empresas menos emissoras obtêm custo de capital mais baixo, refletindo a preferência dos investidores por ativos verdes. Essa assimetria entre contextos desenvolvidos e emergentes sugere que o Brasil ainda se encontra em uma fase pré-transição, na qual o risco climático é reconhecido, mas não internalizado eficientemente na precificação dos ativos.

5.2 DESEMPENHO DAS CARTEIRAS FORMADAS EM QUINTIS

O segundo método de construção das carteiras, novamente utilizou como base a metodologia aplicada por Bauer et al. (2022), nesse caso, a sua abordagem consiste na construção de carteiras baseadas quintis, considerando um spread simples, classificando as empresas em verdes ou marrons de acordo com seus níveis de emissões absolutas de carbono e também em relação a intensidades de emissões, conforme se observa na Figura 4.

As carteiras foram formadas considerando os níveis de emissões das empresas, tanto em termos absolutos, quanto relativos à receita (intensidade), levando em conta o primeiro e último quintil. Dessa forma, foram constituídas as seguintes carteiras: BE, GE, BI e GI, classificando as empresas conforme o seu impacto ambiental gerado.

Após a aplicação do procedimento de formação das carteiras (Bauer et al., 2022), considerando apenas as empresas que possuíam dados disponíveis para o período analisado, obtiveram-se as seguintes composições das carteiras, conforme apresentado na Tabela 13.

Entre 2019 e início de 2020, as carteiras apresentaram tendência de valorização, com destaque para a B/I, que acumulou sucessivas altas até fevereiro de 2020. Entretanto, com o advento da pandemia em março de 2020, todas as carteiras sofreram quedas expressivas, superiores a -20%. As carteiras B/E e G/E apresentaram retomada mais vigorosa, atingindo picos de +13,9% e +19,2% respectivamente em abril de 2020, refletindo o efeito de recomposição após o impacto inicial da pandemia.

Nos anos de 2021 e 2022, o comportamento dos retornos foi marcado por ciclos curtos de valorização e correção. Em 2021, o mercado manteve um padrão de crescimento

moderado, mas as carteiras “marrons” voltaram a superar as “verdes”, sobretudo durante o segundo trimestre, quando B/E e B/I registraram ganhos acumulados superiores a 10%, enquanto G/E e G/I tiveram resultados mais modestos. Em 2022, o ambiente de maior incerteza, marcado por tensões geopolíticas e aumento de juros, impactou negativamente todas as carteiras, com destaque para as “verdes”, que acumularam perdas acentuadas em abril e junho, chegando a -16% nos dois meses.

Entre 2023 e 2024, observou-se um retorno à estabilidade relativa, com menores oscilações mensais e convergência parcial dos desempenhos. Ainda assim, as carteiras “marrons” mantiveram desempenho médio superior. Apesar da ocorrência de episódios isolados de valorização mais intensa das carteiras “verdes”, com destaque para novembro de 2023, em que obtiveram uma alta de +15,4% na carteira G/E e +16,8% na carteira G/I.

Quadro 5:

Desempenho mensal das carteiras baseada em quintis e spread simples.

Data	B/E	B/I	G/E	G/I
01/2019	12,72	14,72	10,50	10,31
02/2019	3,69	2,83	-3,43	-2,76
03/2019	5,09	3,61	-1,53	-1,60
04/2019	-5,01	-3,56	5,42	5,78
05/2019	1,57	6,56	7,15	7,17
06/2019	1,32	5,32	7,12	6,97
07/2019	0,85	7,61	8,93	9,38
08/2019	-3,45	-4,47	3,19	3,54
09/2019	2,29	-1,34	2,60	1,64
10/2019	-1,32	0,74	2,48	2,53
11/2019	1,70	3,39	1,30	1,97
12/2019	9,84	11,42	10,49	10,43
01/2020	-0,70	-0,90	7,40	6,03
02/2020	-12,30	-9,60	-6,21	-6,49
03/2020	-21,28	-23,51	-22,72	-23,35
04/2020	13,92	14,91	19,23	17,62
05/2020	14,18	10,49	10,21	6,72
06/2020	8,95	12,07	6,87	7,88
07/2020	7,39	6,33	8,34	7,36
08/2020	3,47	4,40	-1,78	-1,33
09/2020	-5,58	-6,30	-5,54	-7,52
10/2020	4,94	2,82	-2,26	-2,40
11/2020	14,69	14,48	8,68	10,10
12/2020	9,42	8,26	3,60	4,05

01/2021	-5,37	-5,93	-3,38	-1,44
02/2021	3,23	-0,66	-6,37	-4,00
03/2021	10,37	7,73	1,84	1,59
04/2021	10,61	8,34	4,21	3,40
05/2021	3,07	4,31	6,05	5,43
06/2021	-2,87	-4,57	-2,85	-0,74
07/2021	0,58	-1,57	-1,73	-3,22
08/2021	-5,46	-4,34	-7,17	-2,91
09/2021	-4,09	-1,19	-9,93	-9,71
10/2021	-9,40	-8,29	-13,18	-12,88
11/2021	-1,56	-1,94	-2,65	-3,70
12/2021	9,49	7,36	3,98	5,64
01/2022	2,40	3,71	4,46	4,95
02/2022	-1,09	-1,75	-8,10	-5,89
03/2022	8,09	5,72	8,50	8,39
04/2022	-7,82	-6,34	-16,59	-15,91
05/2022	3,57	4,73	-3,50	-2,76
06/2022	-12,82	-13,99	-16,65	-15,55
07/2022	3,40	2,44	10,95	10,47
08/2022	3,32	4,11	9,98	9,91
09/2022	-2,98	-5,99	5,24	5,26
10/2022	5,52	5,36	1,63	3,09
11/2022	3,13	2,33	-18,92	-18,23
12/2022	-2,90	-2,71	-6,47	-5,26
01/2023	5,20	4,85	5,09	4,97
02/2023	-8,96	-8,75	-11,23	-9,80
03/2023	-3,52	-1,72	3,84	2,11
04/2023	-1,21	1,86	6,77	5,14
05/2023	6,67	7,66	15,06	16,48
06/2023	8,59	7,14	3,59	1,89
07/2023	2,59	3,28	6,59	3,80
08/2023	-6,39	-5,13	-8,20	-7,81
09/2023	-1,00	-0,42	-6,24	-8,62
10/2023	-5,33	-7,28	-10,28	-10,89
11/2023	9,57	8,30	15,42	16,83
12/2023	8,90	7,15	6,57	4,65
01/2024	-7,34	-6,37	-11,14	-9,89
02/2024	2,81	2,58	3,64	3,79
03/2024	-2,08	-0,66	-0,66	-1,64
04/2024	-4,09	-3,34	-10,35	-10,95

05/2024	-2,98	-1,62	-3,10	-3,56
06/2024	1,92	0,46	-4,24	-3,22
07/2024	-0,99	-1,99	0,74	1,67
08/2024	2,34	1,15	7,43	7,14
09/2024	0,71	0,48	-7,21	-8,20
10/2024	-2,54	-3,58	2,24	-1,08
11/2024	1,19	4,15	-9,46	-8,67
12/2024	-9,60	-8,18	-11,64	-11,38

Nota: Os valores em negrito representam a carteira de melhor desempenho no mês.
Fonte: Elaboração própria (2025).

No segundo método adotado para a mensuração de desempenho das carteiras, observou-se novamente, um melhor desempenho das carteiras “marrons” em comparação às “verdes” de forma consistente, considerando tanto as emissões absolutas, quanto a intensidade das emissões, conforme observa-se na Figura 8.

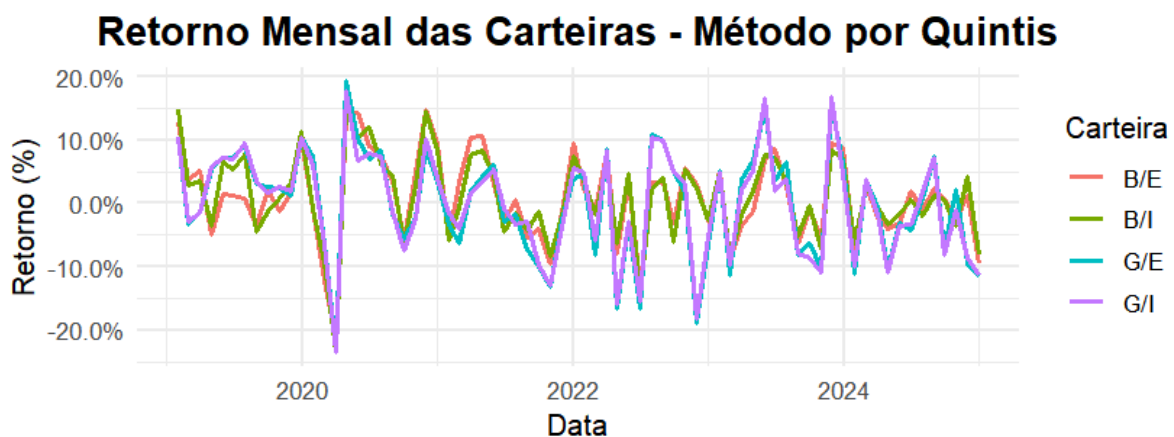


Figura 8. Desempenho mensal das carteiras baseadas em quintis e spread simples.
Fonte: Elaboração própria (2025).

Da mesma forma em que foi realizado nas carteiras formadas em tercis, comparam-se os retornos médios das carteiras durante todo período analisado (Bauer et al., 2022), no qual se observa um desempenho superior nas carteiras compostas por empresas “marrons”, sinalizando a possibilidade de existência de um prêmio de risco carbono sistemático no mercado brasileiro.

Resultados do prêmio de risco carbono

$$\overline{RET\ BE\ (0,99\%)} - \overline{RET\ GE\ (0,04\%)} = 0,95\ p.p.\ Prêmio\ de\ risco\ carbono$$

$$\overline{RET\ BI\ (0,82\%)} - \overline{RET\ GI\ (-0,53\%)} = 1,35\ p.p.\ Prêmio\ de\ risco\ carbono$$

Como realizado no primeiro portfólio, novamente foram aplicados testes estatísticos para verificar se as diferenças de retorno entre as carteiras no período foram significativas. Inicialmente, avaliou-se a normalidade de distribuição dos retornos por meio do teste de Shapiro-Wilk, no qual foi identificado que as diferenças entre as carteiras BE - GE, não seguem distribuição normal, sendo indicado a aplicação do teste não-paramétrico de Mann-Whitney U. Já as diferenças entre BI - GI, seguem distribuição normal, sendo aplicado o teste T.

Tabela 7:

Resultados do teste de Shapiro-Wilk - Portfólio 2.

Diferença entre Carteiras	p-valor
BE - GE	0,018
BI - GI	0,535

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para as diferenças entre as carteiras BE - GE, procedeu-se à verificação estatística por meio da aplicação do teste U de Mann-Whitney, não sendo identificado significância estatística ($p\text{-valor} = 0,224$) na diferença de desempenho entre empresas marrons e verdes, ao avaliar a métrica de emissões absolutas.

Já para a diferença entre as carteiras BI - GI, foi aplicado o teste T, pois a amostra segue distribuição normal. O resultado obtido ($p\text{-valor} = 0,091$), apresentou significância estatística ao nível de 10%, confirmando a identificação de um prêmio de risco carbono no mercado brasileiro ao utilizar a métrica de intensidade de emissões, resultado que está alinhado com os achados do primeiro portfólio de carteiras, no qual só foi identificado significância estatística na métrica de intensidade de emissões, logo, aceita-se parcialmente H_2 .

Tabela 8:

Resultados do teste Mann-Whitney U e teste-T - Portfólio 2.

Diferença entre Carteiras	Teste Utilizado	Resultado do Teste	p-valor
BE - GE	Mann-Whitney U	1531	0,224
BI - GI	Teste-T	1,708	0,091

Fonte: Elaboração própria (2025).

Ao comparar os resultados obtidos no método de spread simples com a literatura internacional, também verifica-se divergência com os resultados obtidos no mercado

brasileiro. Pastor et. al (2022), identificou nos Estados Unidos, melhor desempenho das empresas verdes ao utilizar a métrica de intensidade de emissões, com diferença de -0,45 comparando carteiras marrons e verdes.

Bauer et al. (2022), também investigou a existência de um prêmio de risco carbono nos demais países do G7, no qual apenas a Itália apresentou desempenho superior das empresas marrons tanto na métrica de emissões absolutas (0,49) e na métrica de intensidade de emissões (0,33), sendo o único país com evidências de um prêmio carbono positivo no grupo dos países mais desenvolvidos.

Novamente os resultados estão alinhados com a literatura internacional recente (Aswani et al., 2024; Bolton & Kacperczyk, 2023; Pástor et al., 2021), pois os resultados desta pesquisa detectaram diferenças significativas, apenas na intensidade de emissões, apesar dos comportamentos similares observado entre as carteiras, reforçando que no mercado brasileiro diferencia essas formas de mensuração.

Esses resultados demonstram que, no contexto brasileiro, o risco climático é percebido, mas não precificado negativamente, o mercado exige uma compensação por investir em empresas intensivas em carbono, caracterizando a presença de um fator de risco específico relacionado ao carbono. Segundo Bolton e Kacperczyk (2023), essa relação positiva entre emissões e retornos é típica de mercados em estágio inicial de transição climática, onde os custos de emissão ainda não foram internalizados e os instrumentos de precificação de carbono são incipientes. Portanto, o prêmio de risco carbono identificado nas carteiras brasileiras constitui evidência empírica de que o carbono atua como um fator de risco adicional, que afeta a estrutura de retornos esperados, mesmo que de forma ainda compensatória e não punitiva.

5.3 DESEMPENHO DAS CARTEIRAS COM BASE NA PARTICIPAÇÃO NO ICO2

A análise das carteiras formadas com base na participação das empresas no Índice Carbono Eficiente da B3, buscou avaliar a capacidade desse índice em refletir as diferenças de desempenho financeiro associadas à exposição ao carbono.

Criado em 2010, o ICO2 é um índice descarbonizado que inclui empresas listadas na B3 e que aderem voluntariamente à divulgação de suas emissões de gases de efeito estufa. Seu objetivo é incentivar a transparência e a eficiência na gestão de emissões, promovendo um ambiente de investimento mais alinhado à sustentabilidade corporativa.

A construção das carteiras inspirou-se na metodologia aplicada por Bauer et al. (2022), que consiste na construção de carteiras baseadas tercis, considerando em um spread ajustado ao tamanho, no qual as empresas são classificadas inicialmente em

relação ao seu valor de mercado. Em seguida, foram divididas entre participantes e não-participantes do ICO2, conforme apresentado na Figura 5.

Após a divisão em tercís conforme os critérios determinado, foram formadas quatro carteiras com base no valor de mercado das empresas, e também com base na participação no ICO2, gerando as seguintes carteiras: B/ICO2, B/NICO2, S/ICO2 e S/NICO2. Essa segmentação permite verificar se o mercado brasileiro apresenta diferenças na precificação das ações de empresas que adotam um compromisso com uma economia de baixo carbono em relação àquelas que não o fazem.

Durante o ano de 2019, a carteira S/ICO2 se destacou por fortes ganhos relativos, alcançando +21,36% em janeiro de 2019 e +18,54% em maio de 2019, indicando que, naquele momento, empresas menores e mais alinhadas com práticas de sustentabilidade obtiveram retornos elevados. No entanto, a crise de março de 2020 provocou quedas expressivas em todas as carteiras, com as maiores perdas registradas em S/ICO2 (-24,78%) e S/NICO2 (-21,01%), refletindo a maior vulnerabilidade das empresas com menor valor de mercado em períodos de estresse.

Em abril de 2020, observou-se um movimento de recuperação mais acentuada nas carteiras compostas por empresas participantes do ICO2, com destaque para as carteiras S/ICO2 (+27,34%) e B/ICO2 (+19,63%), evidenciando que tanto empresas grandes quanto pequenas com melhor desempenho ambiental se beneficiaram do otimismo de mercado.

Entre 2021 e 2022, os retornos mensais se tornaram mais moderados e heterogêneos. As carteiras B/ICO2 e B/NICO2 mantiveram ganhos estáveis, enquanto a carteira S/NICO2 apresentou maior oscilação, com quedas acentuadas em momentos de retração do mercado, como -14,21% em outubro de 2021 e -13,20% em novembro de 2022. Em contrapartida, a carteira S/ICO2 exibiu leve resiliência, sugerindo que a inclusão no índice pode ter atenuado parte do risco específico de empresas menores.

Nos anos de 2023 e 2024, as carteiras voltaram a apresentar padrões de retorno positivos, com destaque para B/ICO2 (+11,00% em novembro de 2023) e S/ICO2 (+14,25% no mesmo mês), enquanto suas contrapartes não incluídas no índice obtiveram resultados inferiores. Contudo, o último semestre de 2024 foi marcado por novo movimento de correção, com quedas expressivas, principalmente nas carteiras S/ICO2 (-14,14%) e S/NICO2 (-8,87%), sinalizando novamente maior exposição ao risco nas empresas de pequeno porte.

Quadro 6:

Desempenho mensal das carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.

Data	B/ICO2	B/NICO2	S/ICO2	S/NICO2
------	--------	---------	--------	---------

01/2019	11,87	11,45	21,36	8,06
02/2019	-1,03	-2,05	-8,18	0,63
03/2019	-3,56	0,60	0,79	-0,44
04/2019	-1,67	0,77	2,54	1,17
05/2019	-0,24	-0,50	18,54	1,33
06/2019	4,15	2,19	16,24	7,53
07/2019	1,57	7,14	6,07	7,13
08/2019	-1,95	0,46	-5,97	2,44
09/2019	6,78	0,33	-10,46	2,91
10/2019	0,66	-0,04	-2,06	4,30
11/2019	5,20	3,88	-1,56	7,15
12/2019	9,38	10,31	25,02	16,41
01/2020	4,75	3,77	-3,16	1,73
02/2020	-8,79	-8,43	-6,61	-8,21
03/2020	-22,53	-15,15	-24,78	-21,01
04/2020	19,63	8,18	27,34	17,31
05/2020	12,91	8,40	0,13	7,05
06/2020	7,09	4,85	14,00	9,16
07/2020	8,82	9,25	2,13	7,01
08/2020	-1,66	-4,67	-6,11	-0,80
09/2020	-8,55	-6,37	-12,17	-4,86
10/2020	-4,50	-2,50	2,67	-2,73
11/2020	10,17	9,88	12,34	12,95
12/2020	5,53	4,62	-4,73	4,12
01/2021	-2,71	3,21	-0,02	-5,07
02/2021	-4,67	-2,84	0,89	-7,54
03/2021	5,16	3,32	7,95	8,48
04/2021	2,72	-0,03	2,14	9,34
05/2021	3,71	-1,51	7,32	11,29
06/2021	-3,81	-0,29	-1,66	2,34
07/2021	-2,21	-4,83	-3,06	-2,71
08/2021	-3,63	-2,07	-4,15	-1,79
09/2021	-6,75	-5,14	-1,10	-8,00
10/2021	-7,89	-9,18	-13,90	-14,21
11/2021	0,09	-5,11	-0,96	-3,72
12/2021	3,00	6,09	11,03	11,60
01/2022	2,63	-2,77	5,90	3,86
02/2022	-2,79	4,94	-4,93	-9,64
03/2022	8,10	8,04	7,26	5,17
04/2022	-11,08	-10,52	-13,08	-7,31

05/2022	0,03	4,19	2,00	-0,35
06/2022	-12,42	-11,16	-14,29	-14,12
07/2022	5,45	1,86	0,41	5,26
08/2022	4,50	3,01	11,00	8,20
09/2022	-2,81	-0,56	-1,35	-2,08
10/2022	6,63	8,43	6,84	6,30
11/2022	-4,46	-2,67	-16,46	-13,20
12/2022	-2,60	-2,63	-5,50	-4,99
01/2023	5,48	3,41	1,24	0,75
02/2023	-6,88	-8,39	-16,90	-10,37
03/2023	-0,69	-3,34	10,10	-0,17
04/2023	1,86	-0,18	7,26	5,73
05/2023	4,22	3,90	18,02	16,06
06/2023	6,64	7,26	6,36	8,57
07/2023	2,63	8,69	5,44	3,22
08/2023	-7,78	0,32	-10,62	-5,47
09/2023	-2,66	1,37	-9,85	-4,13
10/2023	-5,61	-2,31	-10,05	-11,11
11/2023	11,00	5,45	14,25	8,65
12/2023	6,10	4,99	2,79	8,68
01/2024	-5,35	-3,24	-13,40	-10,02
02/2024	2,18	1,29	4,45	3,58
03/2024	-1,48	1,67	-7,32	3,33
04/2024	-3,15	-3,09	-11,42	-5,32
05/2024	-3,54	-3,72	-4,80	-4,23
06/2024	1,89	2,03	-3,43	-4,39
07/2024	3,62	2,38	4,97	-1,54
08/2024	4,77	3,79	13,28	4,77
09/2024	-1,06	-2,74	-5,97	-3,82
10/2024	-3,83	-2,03	-0,76	-1,93
11/2024	-2,65	0,47	-6,72	-3,13
12/2024	-7,27	-3,54	-14,14	-8,87

Nota: Os valores em negrito representam a carteira de melhor desempenho no mês.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados mensais, no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2024, indicaram volatilidade acentuada em todas as carteiras, reflexo tanto das condições macroeconômicas quanto da composição setorial da B3. No entanto, as diferenças médias de retorno revelaram que as carteiras de empresas não-listadas no ICO2 apresentaram desempenho superior em relação às participantes.

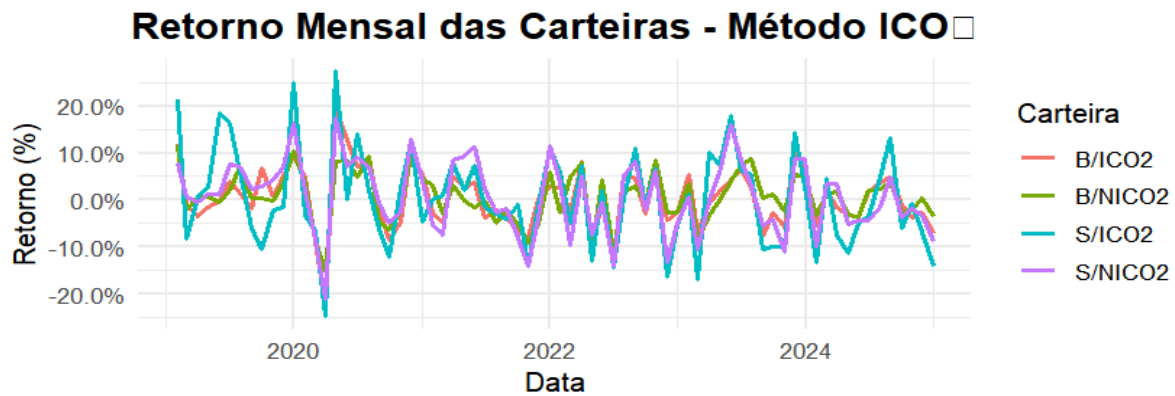


Figura 9. Desempenho mensal das carteiras baseadas na participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Nesse último cenário de verificação da existência de um prêmio de risco carbono, ficou definido como a diferença do retorno médio entre empresas não participantes em relação às participantes. Sendo observado um melhor desempenho entre as organizações que não fazem parte do ICO2, considerando tanto as empresas pequenas (0,38 p.p.), quanto as grandes (0,22 p.p.).

$$\overline{RET\ SNICO2\ (0,64\%)} - \overline{RET\ SICO2\ (0,26\%)} = 0,38\ p.p.\ Prêmio\ de\ risco\ carbono$$

$$\overline{RET\ BNICO2\ (0,59\%)} - \overline{RET\ BICO2\ (0,37\%)} = 0,22\ p.p.\ Prêmio\ de\ risco\ carbono$$

Por fim, como realizado nos dois portfólios anteriores, repetiu-se o mesmo método de verificação de significância estatística para as carteiras formadas com base na participação no ICO2. Inicialmente, foi avaliada a normalidade de distribuição dos retornos por meio do teste de Shapiro-Wilk, no qual foi identificado que as diferenças entre as carteiras seguem distribuição normal, sendo indicado a aplicação do teste T.

Tabela 9:
Resultados do teste de Shapiro-Wilk - Portfólio 3.

Diferença entre Carteiras	p-valor
SNICO - SICO2	0,311
BNICO2 - BICO2	0,220

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para avaliar a significância estatística entre as diferenças entre as carteiras, foi aplicado o teste T. Os resultados obtidos entre as diferenças de desempenho entre as empresas com menor valor de mercado (p-valor = 0,578) e as empresas com maior valor de mercado (p-valor = 0,585), não apresentou significância estatística, logo, rejeita-se H_3 .

Diante desse resultado, verificou-se que a participação no ICO2, ainda não é um fator relevante na precificação do risco carbono, sendo indiferente, até o momento para o mercado, a inclusão das empresas nesse índice. Vale destacar que, com a precificação obrigatória do carbono, após a implementação do SBCE, esse cenário deve sofrer alterações.

Tabela 10:

Resultados do teste-T - Portfólio 3.

Diferença entre Carteiras	Estatística-t	p-valor
SNICO - SICO2	0,557	0,578
BNICO2 - BICO2	0,547	0,585

Fonte: Elaboração própria (2025).

Esses resultados sugerem que, durante o período analisado, o mercado brasileiro não premiou financeiramente a participação em índices descarbonizados, divergindo da literatura internacional (Andersson et al., 2016). As empresas que não aderiram ao ICO2, presumivelmente mais intensivas em emissões, apresentaram retornos ligeiramente superiores, demonstrando que a participação em um índice descarbonizado, ainda não representa um fator relevante no mercado brasileiro.

Entretanto, a direção positiva do prêmio encontrado contrasta com estudos realizados em mercados maduros, nos quais índices descarbonizados tendem a apresentar desempenho igual ou superior aos seus benchmarks. Andersson et al. (2016) mostraram que, em contextos com regulação ambiental avançada, índices descarbonizados conseguem reduzir significativamente a exposição ao carbono sem comprometer o retorno esperado, funcionando como uma “opção gratuita sobre carbono”.

No Brasil, porém, os estudos sobre o desempenho do ICO2 têm apresentado resultados mistos. Carvalho et al. (2016) e de Carvalho e Callado (2017) identificaram que o ICO2 não apresentou desempenho superior ao IBrX 50, embora ofereça menor volatilidade e exposição a empresas intensivas em emissões. Por outro lado, Souza et al. (2018) e Cunha et al. (2021) encontraram evidências de que o índice pode contribuir para o engajamento corporativo e para a melhoria das práticas de governança ambiental, mesmo sem impacto positivo direto sobre o retorno. Esses resultados sugerem que o ICO2 atua

mais como instrumento de sinalização e transparência do que como um fator determinante de desempenho financeiro.

Essa característica está diretamente ligada à natureza voluntária do índice. A adesão ao ICO2 depende da decisão das empresas de divulgar suas emissões de gases de efeito estufa e de se comprometer com metas de eficiência. Como argumentam Carvalho et al. (2017), essa adesão voluntária limita o alcance do índice, pois as empresas participantes tendem a ser as mais estruturadas e já expostas ao escrutínio público, reduzindo o diferencial de percepção de risco entre integrantes e não integrantes. Dessa forma, a inclusão no ICO2 não gera, por si só, vantagens financeiras perceptíveis, o que explica a ausência de um desempenho superior.

Do ponto de vista das finanças sustentáveis, a evidência obtida reforça o papel dos índices descarbonizados como ferramentas de transição, e não como mecanismos de precificação imediata. Conforme Andersson et al. (2016) argumentam, esses índices funcionam como um hedge estratégico, permitindo aos investidores reduzir sua exposição a emissões futuras sem comprometer significativamente os retornos atuais. No entanto, para que essa dinâmica se consolide no Brasil, é necessário o fortalecimento do ambiente institucional e a ampliação da base de investidores sensíveis a fatores ESG.

O prêmio positivo encontrado constitui evidência empírica de que o risco climático é percebido, mas não precificado negativamente, refletindo o estágio de transição do país em direção à economia de baixo carbono. Esse comportamento reforça as conclusões de Carvalho et al. (2017) e Cunha et al. (2021), segundo as quais o ICO2 desempenha um papel simbólico e pedagógico, promovendo transparência e engajamento corporativo, mas ainda sem impacto direto sobre o custo de capital ou os retornos esperados.

Entretanto, é importante destacar que o índice ICO2 pode não refletir com assertividade o compromisso com uma economia de baixo carbono, pois os critérios para inclusão para as empresas que o compõe, não exigem práticas sustentáveis acima da média do mercado, sendo necessário apenas estar dentro dos 75% (setenta e cinco por cento) das empresas com os menores coeficientes de emissão/receita.

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a relação entre emissões de carbono e o retorno acionário de empresas listadas na B3, investigando a existência de um prêmio de risco carbono no mercado brasileiro. Para o atendimento desse objetivo, foi adotada uma estratégia metodológica quantitativa, baseada em modelos econométricos, formação de carteiras e análises estatísticas.

Como elemento norteador desta pesquisa, buscou-se responder de que forma a relação entre emissões de CO₂ e retornos acionários se manifesta no mercado acionário brasileiro no período de 2019 a 2024, à luz da hipótese de existência de um prêmio de risco carbono. Os resultados obtidos indicam que o mercado brasileiro ainda se encontra em um estágio incipiente de precificação do risco carbono, uma vez que esse fator não se mostrou estatisticamente relevante de forma consistente na explicação dos retornos acionários durante o período analisado.

No entanto, embora não se observe uma precificação consolidada do risco climático, os achados empíricos sugerem indícios de uma transição em curso. Essa interpretação decorre, principalmente, de dois aspectos: (i) a recorrência de desempenhos relativamente superiores das carteiras compostas por empresas mais intensivas em carbono ao longo dos três portfólios analisados; e (ii) a tendência de sensibilidade dos retornos às emissões de carbono no período subsequente da implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE).

Para verificação da H_1 , utilizou-se a aplicação de dados em painel desbalanceado e modelo Pooled, no qual não se aceita a primeira hipótese do estudo. Apesar de ter sido encontrado uma relação positiva entre emissões e retorno, o coeficiente é muito próximo de zero, logo, as emissões de carbono não são um fator explicativo para o retorno.

Já em relação a H_2 , a análise foi realizada por meio da formação de carteiras baseadas em spread ajustado ao tamanho e spread simples. Ao analisar as carteiras compostas por um spread ajustado ao tamanho, verifica-se que, apenas a diferença entre as carteiras SBI - SGI apresentou significância estatística ao nível de 10%. Já ao analisar os resultados das carteiras compostas por um spread simples, apenas a diferença entre as carteiras BI - GI, apresentou significância estatística ao nível de 10%, diante disso a H_2 foi confirmada parcialmente.

Apesar das carteiras compostas por empresas mais poluentes terem apresentado desempenho superior, as diferenças de resultados entre as carteiras, não são suficientemente significativas e robustas para caracterizar a existência de um prêmio de risco carbono no período analisado. Os resultados sugerem que, embora o risco carbono ainda não seja plenamente internalizado pelos investidores no Brasil, há sinais de que sua

precificação tende a se intensificar à medida que o arcabouço regulatório ambiental se consolida.

Os achados dialogam com a literatura internacional ao demonstrar que o sinal da relação entre emissões e retorno é instável e sofre influências do ambiente institucional e do grau de desenvolvimento dos mecanismos de transição ambiental dos mercados.

Já em relação à verificação da influência que a participação no ICO2 pode gerar no retorno acionário, foi verificado que a participação em um índice descarbonizado ainda não gera impacto direto sobre a precificação dos ativos no mercado brasileiro. Os resultados obtidos entre as diferenças de desempenho entre as empresas participantes e não-participantes do ICO2, não apresentou significância estatística, logo, rejeitou-se H_3 .

Em síntese, os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam que o mercado acionário brasileiro sinaliza o reconhecimento do carbono como um fator de risco, ainda que em uma fase inicial de precificação. Essa constatação reforça a necessidade de fortalecimento institucional, aprimoramento das práticas de disclosure e integração das finanças sustentáveis às políticas públicas, de modo que o risco climático deixe de ser apenas percebido e passe efetivamente a ser precificado nos mercados de capitais brasileiros.

Vale salientar que este estudo apresenta limitações, com destaque para a baixa divulgação de dados de emissões das empresas brasileiras, sendo necessário um corte temporal mais recente, pois em períodos anteriores à 2019 poucas empresas possuíam esses dados disponíveis. Também vale destacar, que a análise é restrita à disponibilidade dos dados anuais de emissões, limitando a possibilidade de identificação de variações em um período mais delimitado.

Estudos futuros podem avaliar a reação do mercado à divulgação dos relatórios de sustentabilidade, verificando o impacto nos retornos das empresas, além da exploração de medidas alternativas de risco climático, como eficiência energética, geração de resíduos ou ratings ESG, possibilitando a avaliação da relação entre o retorno acionário e outras métricas ambientais.

Os resultados deste estudo contribuem para a literatura de finanças sustentáveis ao oferecer subsídios relevantes para diferentes agentes econômicos. Para os investidores, os achados auxiliam na formulação de estratégias de alocação de recursos mais alinhadas a uma economia de baixo carbono. Para as organizações, os resultados permitem uma melhor compreensão do nível de maturidade do mercado acionário brasileiro no que se refere à precificação do risco climático. Já para os formuladores de políticas públicas, os achados indicam limitações institucionais, destacando a importância de mecanismos regulatórios claros, previsíveis e eficazes para a adequada incorporação dos riscos climáticos na precificação dos ativos pelo mercado de capitais.

REFERÊNCIAS

- Akbar, U. S., Bhutto, N. A., & Rajput, S. K. O. (2023). How do carbon emissions and eco taxation affect the equity market performance: An empirical evidence from 28 OECD economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 46312–46324. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29882-y>
- Andersson, M., Bolton, P., & Samama, F. (2016). Hedging climate risk. *Financial Analysts Journal*, 72(3), 13-32.
- Arellano, M. (1987). Computing robust standard errors for within-groups estimators. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 49(4), 431–434. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1987.mp49004006.x>
- Aswani, J., Raghunandan, A., & Rajgopal, S. (2024). Are carbon emissions associated with stock returns? *Review of Finance*, 28(1), 75–106. <https://doi.org/10.1093/rof/rfad013>
- Baltagi, B. H. (2008). *Econometric analysis of panel data* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Banz, R. W. (1981). The relationship between return and market value of common stocks. *Journal of Financial Economics*, 9(1), 3–18. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(81\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0304-405X(81)90018-0)
- Barberà-Mariné, M.-G., Fabregat-Aibar, L., Neumann-Calafell, A.-M., & Terceño, A. (2023). Climate change and stock returns in the European market: An environmental intensity approach. *Journal of Environmental Management*, 345, 118927. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118927>
- Bauer, M. D., Huber, D., Rudebusch, G. D., & Wilms, O. (2022). Where is the carbon premium? Global performance of green and brown stocks. *Journal of Climate Finance*, 1, 100006.
- Berman, S. L., Wicks, A. C., Kotha, S., & Jones, T. M. (1999). Does stakeholder orientation matter? The relationship between stakeholder management models and firm financial performance. *Academy of Management Journal*, 42(5), 488–506. <https://doi.org/10.5465/256972>
- Bernardini, E., Di Giampaolo, J., Faiella, I., & Poli, R. (2021). The impact of carbon risk on stock returns: Evidence from the European electric utilities. *Journal of Sustainable Finance & Investment*. <https://doi.org/10.1080/20430795.2019.1569445>

Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). The capital asset pricing model: Some empirical tests. In M. C. Jensen (Ed.), *Studies in the theory of capital markets* (pp. 79–121). Praeger.

Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021a). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.008>

Bolton, P., & Kacperczyk, M. T. (2021c). Carbon disclosure and the cost of capital. Available at SSRN 3755613.

Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2022). Global pricing of carbon-transition risk. *Journal of Financial Economics*, 144(2), 505–529. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.10.004>

Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2023). Are carbon emissions associated with stock returns? *Comment. Review of Finance*, 28(1), 107–109. <https://doi.org/10.1093/rof/rfad019>

Boudt, K., Cornelissen, J., & Croux, C. (2012). Robust Estimation of the Sharpe Ratio. *Journal of Empirical Finance*, 19(2), 223–237.

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47(5), 1287–1294. <https://doi.org/10.2307/1911963>

Brohé, A., Stern, N., Eyre, N., & Howarth, N. (2012). *Carbon markets: an international business guide*. routledge.

Busch, T., Bassen, A., & Lewandowski, S. (2018). Corporate carbon and financial performance: A meta-analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), 745–759. <https://doi.org/10.1111/jiec.12591>

Carvalho, A. C. F., Maia, M. A. G., Pinto, A. C. F., & Klotzle, M. C. (2016). Desempenho dos índices de sustentabilidade e sua comparação com outros índices de ações da BM&FBovespa. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, 2(3), 1–20.

Carvalho, A. C. F., Sousa, M. E. L., & Callado, A. A. C. (2017). Impacto da entrada e saída de empresas do índice ICO2 sobre a rentabilidade de suas ações. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6(1), 132–148.

Carvalho, P. L., & Callado, A. L. C. (2017). Financial Performance of Stocks of Companies Participating in the Carbon Efficient Index (ICO2). In *Advances in Environmental Accounting & Management: Social and Environmental Accounting in Brazil* (pp. 105-132). Emerald Publishing Limited.

Cheema-Fox, A., LaPerla, B. R., Serafeim, G., Turkington, D., & Wang, H. (2019). Decarbonization factors (pp. 20-37). Boston, MA, USA: Harvard Business School.

Cheema-Fox, A., LaPerla, B. R., Serafeim, G., Turkington, D., & Wang, H. (2021). Decarbonizing everything. *Financial Analysts Journal*, 77(3), 93-108.

Chen, F., Chen, Z., & Zhang, X. (2024). Belated stock returns for green innovation under carbon emissions trading market. *Journal of Corporate Finance*, 85, 102558. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2024.102558>

Clément, A., Robinot, É., & Trespeuch, L. (2023). The use of ESG scores in academic literature: a systematic literature review. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*.

Cruz, A. C. B., Gomes, L. L., Oliveira, R. S., & Oliveira, V. C. (2017). Formas de enfrentamento às mudanças climáticas das empresas brasileiras: Uma análise da B3. *Revista de Contabilidade da UFBA*, 11(2), 109–131.

Dalfovo, M. S., Lana, R. A., & Silveira, A. (2008). Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, 2(4), 1–13.

de Kyoto, P. (1997). Protocolo de Kyoto. Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático (CMNUCC).

Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.

Fama, E. F., & French, K. R. (1992). The cross-section of expected stock returns. *Journal of Finance*, 47(2), 427–465. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1992.tb04398.x>

Fama, E. F., & French, K. R. (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, 33(1), 3–56. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(93\)90023-5](https://doi.org/10.1016/0304-405X(93)90023-5)

Ferreira, C. A. L. (2015). Pesquisa Quantitativa E Qualitativa: Perspectivas Para O Campo Da Educação. *Revista Mosaico - Revista De História*, 8(2), 113–121. <https://doi.org/10.18224/mos.v8i2.4424>

Freeman, R. E., & McVea, J. (2001). A stakeholder approach to strategic management (Working Paper No. 01-02). Darden Business School, University of Virginia. <https://doi.org/10.2139/ssrn.263511>

Freeman, R. Strategic Management: A Stakeholder Approach. Boston: Pitman, 1984.

Gillan, S. L., Koch, A., & Starks, L. T. (2021). Firms and social responsibility: A review of ESG and CSR research in corporate finance. *Journal of Corporate Finance*, 66, 101889.

Gomes, F. P., & Tortato, U. (2011). Adoção de Práticas de Sustentabilidade como Vantagem Competitiva: Evidências Empíricas. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*, 5(2), 33-49.

Görge, M., Jacob, A., Nerlinger, M., Riordan, R., Rohleder, M., & Wilkens, M. (2020). Carbon risk. *Journal of Finance*, 75(2), 1077–1111. <https://doi.org/10.1111/jofi.12830>

Graves, S. B., & Waddock, S. A. (1994). Institutional owners and corporate social performance. *Academy of Management Journal*, 37(4), 1034–1046. <https://doi.org/10.5465/256611>

Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of Management Review*, 20(4), 986–1014. <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9512280033>

Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251–1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>

Hong, H., & Kacperczyk, M. (2009). The price of sin: The effects of social norms on markets. *Journal of Financial Economics*, 93(1), 15–36. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2008.09.001>

Hsiao, C. Y.-L., Chiu, Y.-B., & Wang, Y. (2024). Assessing contagion risks of carbon reduction policies on the stock returns: Evidence from China's energy markets. *Emerging Markets Finance and Trade*, 60(12), 2783–2804. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2024.2324189>

Hsu, P.-H., Li, K., & Tsou, C.-Y. (2022). The pollution premium. *Journal of Financial Economics*, 143(2), 1031–1053. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.07.006>

Huang, D. Z.-X. (2022). Environmental, social and governance factors and assessing firm value: Valuation, signalling and stakeholder perspectives. *Accounting & Finance*, 62(S1), 4753–4785. <https://doi.org/10.1111/acfi.12849>

ICO2-B3. Índice Carbono Eficiente da B3, 2022. Acesso em 04 mar. 2025. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-carbono-eficiente-ico2-b3.htm

ICO2-B3. Índice Carbono Eficiente da B3, 2022. Acesso em 04 mar. 2025. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-carbono-eficiente-ico2-b3.htm

ICO2-B3. Metodologia do Índice Carbono Eficiente (ICO2), 2023. Acesso em 04 mar. 2025. Disponível em: https://www.b3.com.br/data/files/AF/70/8F/03/2A7998101DBF7498AC094EA8/ICO2-Metodologia_2023_VF.pdf

In, S. Y., Park, K. Y., & Monk, A. H. B. (2017). Is ‘being green’ rewarded in the market? An empirical investigation of decarbonization and stock returns. Stanford Global Projects Center Working Paper. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2925314>
<https://www.stanford.edu/group/global-projects-center/int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

Jensen, M. Value Maximization, Stakeholder Theory, and the Corporate Objective Function. *Journal of Applied Corporate Finance*, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 8-21, Fall 2001

Jones, T. M. (1995). Instrumental stakeholder theory: A synthesis of ethics and economics. *Academy of Management Review*, 20(2), 404–437. <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9507312924>

Jung, H., Lee, S. S., & Song, Y. (2023). Carbon productivity and volatility. *Journal of Banking & Finance*, 151, 107385. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2023.107385>

Karagiannopoulou, S., Giannarakis, G., Galariotis, E., Zopounidis, C., & Sariannidis, N. (2022). The impact of Dow Jones Sustainability Index, exchange rate and consumer sentiment index on carbon emissions. *Sustainability*, 14(19), 12052. <https://doi.org/10.3390/su141912052>

Kennedy, P. (2008). *A guide to econometrics* (6th ed.). Blackwell Publishing.

Lakonishok, J., Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1994). Contrarian investment, extrapolation, and risk. *Journal of Finance*, 49(5), 1541–1578. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1994.tb04772.x>

Li, W., Liu, T., & Wei, M. (2023). Heterogeneous response of the stock market to CO₂ emissions in China. *Frontiers in Energy Research*, 10, 1074262. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1074262>

Lin, L. (2012). Research on international carbon finance market development and risk in low carbon economy *Contemp. Finance Econ.*, 2 (2012), pp. 51-58.

Lintner, J. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *The Review of Economics and Statistics*, 47(1), 13-37.

López-Cabarcos, M. Á., & Quiñoá-Piñeiro, L. M. (2023). Corporate financial performance: A study based on the Carbon Efficient Index (ICO2) of Brazil stock exchange. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 4323–4354. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01617-4>

Martínez-Ferrero, J., & Frias-Aceituno, J. V. (2015). Relationship between sustainable development and financial performance: international empirical research. *Business Strategy and the Environment*, 24(1), 20-39.

Miao, X., & Li, N. (2022). How carbon emission affects stock returns and business management in China. In V. Gaikar et al. (Eds.), *FMET 2022, AEBMR 227* (pp. 793–802). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-054-1_86

Oestreich, A. M., & Tsiakas, I. (2015). Carbon emissions and stock returns: Evidence from the EU Emissions Trading Scheme. *Journal of Banking & Finance*, 58, 294-308.

Parmar, B. L., Freeman, R. E., Harrison, J. S., Wicks, A. C., Purnell, L., & de Colle, S. (2010). Stakeholder theory: The state of the art. *Academy of Management Annals*, 4(1), 403–445. <https://doi.org/10.5465/19416520.2010.495581>

Pastor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2021). Sustainable investing in equilibrium. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 550–571. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.005>

Pástor, L., Stambaugh, R. F., & Taylor, L. A. (2022). Dissecting green returns. *Journal of Financial Economics*, 146(2), 403–424. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2022.02.008>

Pedersen, L. H., Fitzgibbons, S., & Pomorski, L. (2021). Responsible investing: The ESG-efficient frontier. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 572–597. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.006>

Petersen, M. A. (2009). Estimating standard errors in finance panel data sets: Comparing approaches. *Review of Financial Studies*, 22(1), 435–480. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhn053>

Phillips, R., & Reichart, J. (1998). The environment as a stakeholder? A fairness-based approach. *Journal of Business Ethics*, 23(2), 185–197. <https://doi.org/10.1023/A:1006064901572>

Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value: How to reinvent capitalism—and unleash a wave of innovation and growth. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62–77.

Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.

Ruxton, G. D. (2006). The unequal variance t-test is an underused alternative to Student's t-test and the Mann–Whitney U test. *Behavioral Ecology*, 17(4), 688–690.

Sabbaghi, O., & Sabbaghi, N. (2011). Carbon financial instruments, thin trading, and volatility: Evidence from the Chicago Climate Exchange. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 51(4), 399–407. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2011.07.004>

Salehi, M., Fahimifard, S. H., Zimon, G., Bujak, A., & Sadowski, A. (2022). The effect of CO2 gas emissions on the market value, price and shares returns. *Energies*, 15(23), 9221. <https://doi.org/10.3390/en15239221>

Sampieri, RH, Collado, CF e Lúcio, MDPB (2013). Metodologia de pesquisa (5ª ed.). Grupo A. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788565848367>

Santos, G. C. (2023). Crédito carbono como forma de sinalização ao mercado e de mercado acerca da percepção de ESG. *Ius Gentium*, 13(2), 120–155.

Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, 19(3), 425–442. <https://doi.org/10.2307/2977928>

Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Silva, M. L. S., Prado, J. W., Fabiano, E. S., & Oliveira, J. M. (2015). Relação entre disclosure ambiental e desempenho financeiro de empresas listadas no ICO2. *Revista Ambiente Contábil*, 7(2), 71–87.

Sousa, R. C., & Zucco, F. A. (2017). Avaliação da ecoeficiência das empresas do ICO2: Uma abordagem baseada no Índice de Desenvolvimento de Ecoeficiência Empresarial (IDEE). *Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ*, 22(1), 49–70.

Tay, B.-H. (2023). Climate change and stock market: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1151, 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1151/1/012021>

UNFCCC, 2015. The Paris Agreement. United Nations Climate Change.

Venmans, F. (2012). A literature-based multi-criteria evaluation of the EU ETS. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5493-5510.

Vogt, M., & Schons, M. E. (2022). Índice de Carbono Eficiente e rentabilidade das empresas brasileiras. *Revista Metropolitana de Governança Corporativa*, 7(1), 5–27.

Welch, B. L. (1947). The generalization of "Student's" problem when several different population variances are involved. *Biometrika*, 34(1–2), 28–35.

Wen, F., Wu, N., & Gong, X. (2020). China's carbon emissions trading and stock returns. *Energy Economics*, 86, 104627. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104627>

White, H. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817–838. <https://doi.org/10.2307/1912934>

Windmeijer, F., Santos Silva, J., & Wright, R. (2008). Instrumental Variables Estimation with Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 144(1), 71–92.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd ed.). MIT Press.

WRI BRASIL. 4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor, 2020. Acesso em 13 abr. 2024. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-e-stufa-por-pais-e-por-setor>

Zhang, S. (2022). Carbon premium: Is it there? *Review of Finance*, 26(5), 961–1004. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac012>

Zhou, K., & Li, Y. (2019). Carbon finance and carbon market in China: Progress and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 214, 536-549.

Zhu, Q., Liu, S., Wang, L., Yang, S.-B., et al. (2022). Can low-carbon value bring high returns? Novel quantitative trading from portfolio-of-investment targets in a new-energy market. *Economic Analysis and Policy*, 75, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.09.021>

APÊNDICE A

Tabela 11:
Amostra utilizada no estudo

Empresa	Tipo da Ação	Setor Econômico
Alpargatas	PN	Consumo cíclico
Alupar	ON	Utilidade pública
Alupar	PN	Utilidade pública
Ambev S/A	ON	Consumo não cíclico
Ambipar	ON	Utilidade pública
Americanas	ON	Consumo cíclico
Assai	ON	Consumo não cíclico
Auren	ON	Utilidade pública
Azzas 2154	ON	Consumo cíclico
Braskem	ON	Materiais básicos
BRF SA	ON	Consumo não cíclico
Camil	ON	Consumo não cíclico
Carrefour BR	ON	Consumo não cíclico
Casas Bahia	ON	Consumo cíclico
Cba	ON	Materiais básicos
CCR SA	ON	Bens industriais
Cea Modas	ON	Consumo cíclico
Cemig	ON	Utilidade pública
Cemig	PN	Utilidade pública
Copel	ON	Utilidade pública
Cosan	ON	Petróleo gás e biocombustíveis
CPFL Energia	ON	Utilidade pública
Csn Mineracao	ON	Materiais básicos
Cyrela Realt	ON	Consumo cíclico
Dasa	ON	Saúde
Dexco	ON	Materiais básicos
Ecorodovias	ON	Bens industriais
Eletrobras	ON	Utilidade pública

Embraer	ON	Bens industriais
Energisa	PN	Utilidade pública
Eneva	ON	Utilidade pública
Engie Brasil	ON	Utilidade pública
Equatorial	ON	Utilidade pública
Even	ON	Consumo cíclico
Eztec	ON	Consumo cíclico
Fleury	ON	Saúde
Gerdau	PN	Materiais básicos
Gerdau Met	PN	Materiais básicos
Gol	PN	Bens industriais
Grendene	ON	Consumo cíclico
Grupo Natura	ON	Consumo não cíclico
Guararapes	ON	Consumo cíclico
Hidrovias	ON	Bens industriais
Hypera	ON	Saúde
lochp-Maxion	ON	Consumo cíclico
Isa Energia	PN	Utilidade pública
JBS	ON	Consumo não cíclico
JHSF Part	ON	Consumo cíclico
Klabin S/A	PN	Materiais básicos
Light S/A	ON	Utilidade pública
Localiza	ON	Consumo cíclico
Lojas Renner	ON	Consumo cíclico
Lwsa	ON	Tecnologia da informação
M.Diasbranco	ON	Consumo não cíclico
Magaz Luiza	ON	Consumo cíclico
Marcopolo	PN	Bens industriais
Marfrig	ON	Consumo não cíclico
Metal Leve	ON	Consumo cíclico
Minerva	ON	Consumo não cíclico
Movida	ON	Consumo cíclico

MRV	ON	Consumo cíclico
Neoenergia	ON	Utilidade pública
Oi	ON	Comunicações
P.Acucar-Cbd	ON	Consumo não cíclico
Petrobras	PN	Petróleo gás e biocombustíveis
Petroreca	ON	Petróleo gás e biocombustíveis
Petrório	ON	Petróleo gás e biocombustíveis
Positivo Tec	ON	Tecnologia da informação
RaiaDrogasil	ON	Saúde
Raizen	PN	Consumo não cíclico
Randon Part	PN	Bens industriais
Rede D Or	ON	Saúde
Rumo S.A.	ON	Bens industriais
Sabesp	ON	Utilidade pública
Sanepar	PN	Utilidade pública
Santos Brp	ON	Bens industriais
Sao Martinho	ON	Consumo não cíclico
Sid Nacional	ON	Materiais básicos
SLC Agrícola	ON	Consumo não cíclico
Suzano S.A.	ON	Materiais básicos
Taesa	PN	Utilidade pública
Telef Brasil	ON	Comunicações
Tim	ON	Comunicações
Totvs	ON	Tecnologia da informação
Tupy	ON	Bens industriais
Ultrapar	ON	Petróleo gás e biocombustíveis
Unipar	ON	Materiais básicos
Usiminas	ON	Materiais básicos
Vale	ON	Materiais básicos
Vamos	ON	Consumo cíclico

Vibra	ON	Petróleo gás e biocombustíveis
Weg	ON	Bens industriais
Yduqs Part	ON	Consumo cíclico

Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE B

Tabela 12:
Composição das carteiras formadas por tercís e spread ajustado ao tamanho.

Ano	Carteira	Nº de Empresas	Empresas
2019	B/B/E	7	Braskem, CPFL Energia, Eletrobras, Engie Brasil, Petrobras, Suzano S.A., Vale
2019	B/B/I	5	Braskem, Eletrobras, Engie Brasil, Petrobras, Vale
2019	B/G/E	4	Lojas Renner, Magaz Luiza, Vibra, Weg
2019	B/G/I	5	Lojas Renner, Magaz Luiza, Telef Brasil, Ultrapar, Vibra
2019	S/B/E	5	Eneva, Gol, Sanepar, Sid Nacional, Usiminas
2019	S/B/I	7	Eneva, Gol, Isa Energia, Sanepar, Sao Martinho, Sid Nacional, Usiminas
2019	S/G/E	3	Ecorodovias, Fleury, MRV
2019	S/G/I	3	Ecorodovias, Fleury, MRV
2020	B/B/E	6	Eletrobras, Engie Brasil, Petrobras, Sabesp, Suzano S.A., Vale
2020	B/B/I	4	Eletrobras, Engie Brasil, Petrobras, Sabesp
2020	B/G/E	8	Americanas, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Tim, Weg
2020	B/G/I	9	Americanas, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Telef Brasil, Tim, Weg
2020	S/B/E	4	Eneva, Gol, Sanepar, Usiminas
2020	S/B/I	6	Eneva, Gol, Sanepar, Sao Martinho, Tupy, Usiminas

2020	S/G/E	6	Azzas 2154, Ecorodovias, Embraer, Fleury, MRV, Santos Brp
2020	S/G/I	5	Azzas 2154, Ecorodovias, Embraer, Fleury, MRV
2021	B/B/E	9	Ambev S/A, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Petrobras, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Vale
2021	B/B/I	7	Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Petrobras, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A.
2021	B/G/E	8	Americanas, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Tim, Weg
2021	B/G/I	9	Americanas, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Telef Brasil, Tim, Weg
2021	S/B/E	3	Gerdau Met, Gol, Sanepar
2021	S/B/I	6	Gerdau Met, Gol, Sanepar, Sao Martinho, SLC Agricola, Tupy
2021	S/G/E	10	Azzas 2154, Ecorodovias, Embraer, Fleury, Grendene, Guararapes, Movida, MRV, Randon Part, Santos Brp
2021	S/G/I	9	Azzas 2154, Ecorodovias, Embraer, Fleury, Grendene, Guararapes, Movida, MRV, Randon Part
2022	B/B/E	13	Braskem, Cosan, CPFL Energia, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Klabin S/A, Petrobras, Raizen, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Vale
2022	B/B/I	9	Braskem, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Petrobras, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Vale

2022	B/G/E	7	Americanas, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Tim, Vibra
2022	B/G/I	10	Americanas, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Rede D Or, Telef Brasil, Tim, Vibra
2022	S/B/E	3	Gol, Metal Leve, Sanepar
2022	S/B/I	6	Gol, Hidrovias, Metal Leve, Petroreca, Sanepar, Tupy
2022	S/G/E	14	Casas Bahia, Cea Modas, Cyrela Realt, Ecorodovias, Even, Eztec, Fleury, Guararapes, JHSF Part, Marcopolo, Movida, MRV, Santos Brp, Yduqs Part
2022	S/G/I	11	Casas Bahia, Cea Modas, Cyrela Realt, Ecorodovias, Even, Eztec, Fleury, JHSF Part, Movida, MRV, Yduqs Part
2023	B/B/E	14	Ambev S/A, Cosan, Eletrobras, Engie Brasil, Equatorial, Gerdau, Klabin S/A, Petrobras, Raizen, Rumo S.A., Sabesp, Sid Nacional, Suzano S.A., Vale
2023	B/B/I	11	Eletrobras, Engie Brasil, Equatorial, Gerdau, Klabin S/A, Petrobras, Rumo S.A., Sabesp, Sid Nacional, Suzano S.A., Vale
2023	B/G/E	5	Hypera, Localiza, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Tim
2023	B/G/I	7	Assai, Carrefour BR, Localiza, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Rede D Or, Tim
2023	S/B/E	5	Gol, Marfrig, Metal Leve, Sanepar, Tupy
2023	S/B/I	7	Ambipar, Dexco, Gol, Hidrovias, Metal Leve, Sanepar, Tupy

2023	S/G/E	15	Americanas, Casas Bahia, Cea Modas, Cyrela Realt, Dasa, Ecorodovias, Even, Eztec, Fleury, Grendene, JHSF Part, Marcopolo, Movida, MRV, Yduqs Part
2023	S/G/I	12	Americanas, Casas Bahia, Cea Modas, Cyrela Realt, Ecorodovias, Even, Eztec, Fleury, Marcopolo, Movida, MRV, Yduqs Part
2024	B/B/E	14	Ambev S/A, Cosan, CPFL Energia, Eletrobras, Energisa, Equatorial, Gerdau, Klabin S/A, Petrobras, Raizen, Rumo S.A., Sabesp, Suzano S.A., Vale
2024	B/B/I	10	Eletrobras, Energisa, Gerdau, Klabin S/A, Petrobras, Petrorio, Rumo S.A., Sabesp, Suzano S.A., Vale
2024	B/G/E	3	Localiza, RaiaDrogasil, Ultrapar
2024	B/G/I	6	Localiza, RaiaDrogasil, Rede D Or, Telef Brasil, Ultrapar, Vibra
2024	S/B/E	4	Cba, Gol, Metal Leve, Tupy
2024	S/B/I	10	Ambipar, Cba, Dexco, Gol, Hidrovias, Iochp-Maxion, Metal Leve, Oi, Petroreca, Tupy
2024	S/G/E	16	Alpargatas, Americanas, Casas Bahia, Cea Modas, Dasa, Ecorodovias, Even, Eztec, Grendene, Guararapes, JHSF Part, Lwsa, Movida, MRV, Positivo Tec, Yduqs Part
2024	S/G/I	12	Casas Bahia, Cea Modas, Dasa, Ecorodovias, Even, Eztec, Grendene, Lwsa, Movida, MRV, Positivo Tec, Yduqs Part

Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE C

Tabela 13:
Composição das carteiras formadas por quintis e spread simples.

Ano	Carteira	Nº de Empresas	Empresas
2019	B/E	8	Braskem, Eletrobras, Eneva, Engie Brasil, Petrobras, Sid Nacional, Usiminas, Vale
2019	B/I	3	Gol, Sanepar, Sao Martinho
2019	G/E	9	Ecorodovias, Fleury, Grupo Natura, Hypera, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, MRV, RaiaDrogasil
2019	G/I	1	Vibra
2020	B/E	10	Braskem, Eletrobras, Eneva, Engie Brasil, Gerdau, Gol, Petrobras, Sid Nacional, Usiminas, Vale
2020	B/I	2	Sanepar, Sao Martinho
2020	G/E	11	Americanas, Azzas 2154, Ecorodovias, Fleury, Grupo Natura, Hypera, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, MRV, RaiaDrogasil
2020	G/I	3	Embraer, Tim, Vibra
2021	B/E	12	Braskem, Cosan, Eletrobras, Eneva, Engie Brasil, Gerdau, Gerdau Met, Petrobras, Sabesp, Sid Nacional, Usiminas, Vale
2021	B/I	3	Gol, Sanepar, Sao Martinho
2021	G/E	13	Americanas, Azzas 2154, Ecorodovias, Fleury, Grendene, Hypera, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, Movida, MRV, RaiaDrogasil, Randon Part
2021	G/I	4	Embraer, Grupo Natura, Tim, Vibra

2022	B/E	16	Braskem, Cba, Eletrobras, Energisa, Eneva, Engie Brasil, Equatorial, Gerdau, Gerdau Met, Petrobras, Raizen, Sabesp, Sid Nacional, Suzano S.A., Usiminas, Vale
2022	B/I	5	Gol, Isa Energia, Metal Leve, Sanepar, Sao Martinho
2022	G/E	17	Alpargatas, Americanas, Azzas 2154, Casas Bahia, Cea Modas, Cyrela Realt, Even, Eztec, Fleury, Grendene, JHSF Part, Localiza, Magaz Luiza, Movida, MRV, Totvs, Yduqs Part
2022	G/I	4	Grupo Natura, Lojas Renner, RaiaDrogasil, Vibra
2023	B/E	17	Braskem, Cba, Eletrobras, Eneva, Engie Brasil, Equatorial, Gerdau, Gerdau Met, Gol, Metal Leve, Petrobras, Raizen, Sabesp, Sid Nacional, Suzano S.A., Usiminas, Vale
2023	B/I	5	Hidrovias, Rumo S.A., Sanepar, Sao Martinho, Unipar
2023	G/E	18	Alupar, Americanas, Auren, Azzas 2154, Cea Modas, Cyrela Realt, Ecorodovias, Even, Eztec, Fleury, Grendene, JHSF Part, Lojas Renner, Movida, MRV, Totvs, Vamos, Yduqs Part
2023	G/I	6	Casas Bahia, Localiza, Magaz Luiza, Tim, Ultrapar, Vibra
2024	B/E	17	Braskem, Cba, Cosan, Eletrobras, Eneva, Gerdau, Gerdau Met, Gol, Metal Leve, Petrobras, Raizen, Rumo S.A., Sabesp, Sid Nacional, Suzano S.A., Usiminas, Vale

2024	B/I	6	Hidrovias, Petroreca, Sanepar, Sao Martinho, SLC Agricola, Unipar
2024	G/E	18	Azzas 2154, Casas Bahia, Cea Modas, Cyrela Realt, Ecorodovias, Even, Eztec, Fleury, Grendene, JHSF Part, Lojas Renner, Lwsa, Movida, MRV, Positivo Tec, Totvs, Vamos, Yduqs Part
2024	G/I	5	Localiza, Magaz Luiza, RaiaDrogasil, Ultrapar, Vibra

Fonte: Elaboração própria (2025).

APÊNDICE D

Tabela 14:
Composição das carteiras formadas pela participação no ICO2 e spread ajustado ao tamanho.

Ano	Carteira	Nº de Empresas	Empresas
2019	B/ICO2	7	Cemig, Lojas Renner, Motiva SA, Petrobras, Suzano S.A., Ultrapar, Weg
2019	B/NICO2	18	Ambev S/A, Americanas, Braskem, Carrefour BR, CPFL Energia, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Klabin S/A, Localiza, Magaz Luiza, P.Acucar-Cbd, Rumo S.A., Sabesp, Telef Brasil, Tim, Vale, Vibra
2019	S/ICO2	1	MRV
2019	S/NICO2	25	Alupar, Azzas 2154, Camil, Cyrela Realt, Ecorodovias, Eneva, Even, Eztec, Iochp-Maxion, JHSF Part, Light S/A, Marcopolo, Marfrig, Metal Leve, Minerva, Movida, Petrorio, Positivo Tec, Randon Part, Santos Brp, Sao Martinho, SLC Agricola, Totvs, Tupy, Unipar
2020	B/ICO2	11	Americanas, CPFL Energia, Eletrobras, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Motiva SA, Petrobras, Rumo S.A., Ultrapar, Weg
2020	B/NICO2	16	Ambev S/A, Carrefour BR, Cosan, CPFL Energia, Dasa, Engie Brasil, Gerdau, Magaz Luiza, Neoenergia, RaiaDrogasil, Sabesp, Suzano S.A., Telef Brasil, Tim, Vale, Vibra
2020	S/ICO2	1	MRV
2020	S/NICO2	26	Alupar, Azzas 2154, Camil, Cea Modas, Ecorodovias, Even, Fleury, Gerdau Met, Grendene, Iochp-Maxion, JHSF Part, Light S/A,

			Marcopolo, Marfrig, Metal Leve, Minerva, Movida, Oi, Petrorio, Positivo Tec, Randon Part, Santos Brp, Sao Martinho, SLC Agricola, Tupy, Unipar
2021	B/ICO2	22	Ambev S/A, Americanas, Cosan, CPFL Energia, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, Motiva SA, Petrobras, RaiaDrogasil, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Telef Brasil, Tim, Ultrapar, Vibra, Weg
2021	B/NICO2	6	Carrefour BR, Dasa, Klabin S/A, Rede D Or, Sabesp, Vale
2021	S/ICO2	8	Ecorodovias, Embraer, Fleury, Light S/A, Minerva, Movida, Santos Brp, SLC Agricola
2021	S/NICO2	20	Alupar, Ambipar, Azzas 2154, Camil, Cea Modas, Even, Eztec, Grendene, Guararapes, Hidrovias, Iochp-Maxion, JHSF Part, Marcopolo, Metal Leve, Positivo Tec, Randon Part, Sanepar, Tupy, Unipar, Vamos
2022	B/ICO2	24	Ambev S/A, Americanas, Cosan, CPFL Energia, Csn Mineracao, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Grupo Natura, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, Motiva SA, Petrobras, RaiaDrogasil, Raizen, Rede D Or, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Telef Brasil, Tim, Vibra, Weg
2022	B/NICO2	5	Braskem, Carrefour BR, Klabin S/A, Sabesp, Vale
2022	S/ICO2	10	Ecorodovias, Eztec, Fleury, Gol, Minerva, Movida, MRV, P.Acucar-Cbd, Santos Brp, Yduqs Part

2022	S/NICO2	20	Alupar, Ambipar, Camil, Cea Modas, Cyrela Realt, Even, Guararapes, Hidrovias, Iochp-Maxion, JHSF Part, Light S/A, Lwsa, Marcopolo, Metal Leve, Oi, Petroreca, Positivo Tec, Randon Part, Sanepar, Tupy
2023	B/ICO2	25	Ambev S/A, Assai, Carrefour BR, Cemig, Cosan, CPFL Energia, Csn Mineracao, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Hypera, Localiza, Lojas Renner, Magaz Luiza, Motiva SA, Petrobras, RaiaDrogasil, Raizen, Rede D Or, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Telef Brasil, Tim, Weg
2023	B/NICO2	5	Equatorial, Klabin S/A, Petrorio, Sabesp, Vale
2023	S/ICO2	11	Casas Bahia, Ecorodovias, Eztec, Fleury, Gol, Lwsa, Marfrig, Movida, MRV, P.Acucar-Cbd, Yduqs Part
2023	S/NICO2	19	Ambipar, Americanas, Camil, Cea Modas, Cyrela Realt, Dasa, Even, Guararapes, Hidrovias, Iochp-Maxion, JHSF Part, Light S/A, Marcopolo, Metal Leve, Oi, Positivo Tec, Randon Part, Sanepar, Tupy
2024	B/ICO2	23	Ambev S/A, Cemig, Copel, Cosan, CPFL Energia, Csn Mineracao, Eletrobras, Engie Brasil, Gerdau, Localiza, Motiva SA, Petrobras, RaiaDrogasil, Raizen, Rede D Or, Rumo S.A., Sid Nacional, Suzano S.A., Telef Brasil, Tim, Ultrapar, Vibra, Weg
2024	B/NICO2	7	Energisa, Equatorial, Klabin S/A, Neoenergia, Petrorio, Sabesp, Vale
2024	S/ICO2	11	Ambipar, Casas Bahia, Dexco, Ecorodovias, Eztec,

			Lwsa, Minerva, Movida, MRV, P.Acucar-Cbd, Yduqs Part
2024	S/NICO2	19	Alpargatas, Americanas, Camil, Cba, Cea Modas, Dasa, Even, Gol, Grendene, Guararapes, Hidrovias, Iochp-Maxion, JHSF Part, Light S/A, Metal Leve, Oi, Positivo Tec, Randon Part, Tupy

Fonte: Elaboração própria (2025).