



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

JHONNE KLEYTON BARBOSA PEREIRA

**DIVULGAÇÃO DO RISCO CLIMÁTICO CORPORATIVO E O RETORNO DAS  
AÇÕES: evidências do índice ICO2**

Recife

2025

JHONNE KLEYTON BARBOSA PEREIRA

**DIVULGAÇÃO DO RISCO CLIMÁTICO CORPORATIVO E O RETORNO DAS  
AÇÕES: evidências do índice ICO2**

Monografia apresentada à Graduação em Ciências  
Econômicas da Universidade Federal de Pernam-  
buco como requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Economia.

Orientador (a): Prof. Dr. Ricardo Chaves Lima

Recife  
2025

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

Pereira, Jhonne Kleyton Barbosa.

Divulgação do risco climático corporativo e o retorno das ações: evidências do índice ICO2 / Jhonne Kleyton Barbosa Pereira. - Recife, 2025.  
25, tab.

Orientador(a): Ricardo Chaves Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Ciências Econômicas - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, anexos.

1. Risco climático corporativo. 2. ICO2 B3. 3. Disclosure ambiental. 4. Retorno anormal acumulado. 5. Estudo de evento. I. Lima, Ricardo Chaves. (Orientação). II. Título.

330 CDD (22.ed.)

JHONNE KLEYTON BARBOSA PEREIRA

**DIVULGAÇÃO DO RISCO CLIMÁTICO CORPORATIVO E O RETORNO DAS  
AÇÕES: evidências do índice ICO2**

Monografia apresentada à Graduação em  
Ciências Econômicas da Universidade Federal  
de Pernambuco como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em Economia.

Recife, 11 de abril de 2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ricardo Chaves Lima (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

---

Prof. Dr. José Lamartine Távora Júnior (Examinador)  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

## **AGRADECIMENTOS**

Precipuamente, agradeço a Deus por ter me mantido firme e protegido a mim e à minha família. Sua presença constante guiou meus passos e manteve sob controle tudo o que estava além do meu alcance.

Aos meus pais, Claudio e Josilene, que sempre estiveram ao meu lado, acreditando no meu potencial. Sua fé, dedicação e incentivo foram essenciais para que eu persistisse, mesmo diante dos maiores desafios.

Ao professor Ricardo Chaves, por aceitar o desafio de orientar este trabalho e cujas contribuições foram imprescindíveis para sua conclusão.

Aos meus colegas de curso, em especial ao Pedro, por suas perguntas instigantes, que me incentivaram a sair do senso comum e aprofundar minhas reflexões.

Aos livros da biblioteca do CCSA, que proporcionaram momentos de imersão intelectual e contato com grandes pensadores.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha jornada, expresso minha mais sincera gratidão.

*"O risco varia inversamente ao conhecimento."*

***(Irving Fisher)***

## RESUMO

Este estudo investiga o impacto da divulgação do risco climático corporativo nos retornos das ações de empresas listadas no Índice Carbono Eficiente (ICO2) da B3, utilizando dados de 2020 a 2023. A pesquisa baseia-se na Hipótese de Mercado Eficiente e no método de estudo de evento para analisar como a exposição ao risco climático corporativo, mensurada por análise textual de relatórios anuais e de sustentabilidade, influencia os retornos anormais acumulados (CAR). Os resultados revelam uma relação não linear entre a divulgação do risco climático e os retornos, com variações significativas ao longo do período analisado. Em 2020, maior exposição ao risco climático foi associada a retornos negativos, enquanto nos demais anos do período, observaram-se sinais de valorização. O estudo destaca a importância da precificação do risco climático pelo mercado e contribui para a literatura sobre finanças climáticas, embora apresente limitações, como o tamanho reduzido da amostra. Conclui-se que a divulgação transparente desses riscos é fundamental para investidores e gestores, reforçando o papel da sustentabilidade na gestão financeira.

**Palavras-chave:** Risco climático. Hipótese de mercado eficiente. Índice ICO2.

## **ABSTRACT**

This study examines the impact of corporate climate risk disclosure on stock returns of companies listed on the Carbon Efficient Index (ICO2) of B3, using data from 2020 to 2023. The research is grounded in the Efficient Market Hypothesis and employs event study methodology to analyze how corporate climate risk exposure, measured through textual analysis of annual and sustainability reports, influences cumulative abnormal returns (CAR). The results reveal a non-linear relationship between climate risk disclosure and returns, with significant variations throughout the analyzed period. In 2020, greater climate risk exposure was associated with negative returns, while in subsequent years, signs of positive valuation were observed. The study highlights the importance of market pricing of climate risk and contributes to the climate finance literature, despite limitations such as the relatively small sample size. We conclude that transparent disclosure of these risks is crucial for investors and managers, reinforcing the role of sustainability in financial management.

**Keywords:** Climate risk. Efficient market hypothesis. ICO2 Index.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Modelos de Regressão . . . . .                                    | 19 |
| Tabela 2 – Estatísticas Descritivas . . . . .                                | 19 |
| Tabela 3 – Resultados das Regressões . . . . .                               | 21 |
| Tabela 4 – Lista de Palavras-chave Relacionadas ao Risco Climático . . . . . | 26 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                      | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                           | <b>12</b> |
| 2.1      | HIPÓTESE DE MERCADO EFICIENTE E ESTUDO DE EVENTO                       | 12        |
| 2.2      | RISCO CLIMÁTICO E O MERCADO FINANCEIRO                                 | 13        |
| 2.3      | MENSURAÇÃO E PRECIFICAÇÃO DO <i>DISCLOSURE</i> DE RISCO CLIMÁ-<br>TICO | 15        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>                                                     | <b>17</b> |
| 3.1      | DADOS E AMOSTRA                                                        | 17        |
| 3.2      | MENSURAÇÃO DO RETORNO ANORMAL ACUMULADO                                | 17        |
| 3.3      | MENSURAÇÃO DO RISCO CLIMÁTICO CORPORATIVO                              | 18        |
| 3.4      | ESTRATÉGIA EMPÍRICA                                                    | 19        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b>                                                      | <b>21</b> |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO</b>                                                       | <b>23</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                     | <b>24</b> |
|          | <b>ANEXO A – PALAVRAS-CHAVE RELACIONADAS AO RISCO CLI-<br/>MÁTICO</b>  | <b>26</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas tornaram-se um dos problemas mais complexos já enfrentados pela humanidade. Devido à sua natureza multidimensional, a problemática passou a ser objeto de estudo da teoria econômica. Desde a publicação do artigo seminal pelo Prêmio Nobel de Economia Nordhaus (1977), os estudos sobre a relação entre mudanças climáticas e atividade econômica tornaram-se cada vez mais frequentes. No contexto da análise econômica, a emissão de gases de efeito estufa é considerada a maior externalidade já observada, e a exclusão dessa questão no âmbito científico pode levar a conclusões equivocadas (STERN, 2008).

Concomitantemente, a exposição do mercado financeiro às mudanças climáticas tem ganhado relevância, especialmente em um contexto de crescente instabilidade ambiental. Por sua natureza heterogênea, a exposição ao risco climático em diferentes setores e empresas permite ao mercado financeiro não apenas compartilhar os riscos com a economia real, mas também mitigar seus efeitos por meio do direcionamento de fluxos de capital para projetos sustentáveis (GIGLIO; KELLY; STROEBEL, 2021). Nesse cenário, a precificação eficiente do risco climático torna-se crucial, uma vez que tanto investidores quanto formuladores de políticas públicas demandam maior transparência em relação à exposição a eventos climáticos extremos, além de adaptação às regulamentações ambientais (BOLTON; KACPERCZYK, 2021).

O esforço global na transição rumo a uma economia de baixo carbono provocou o surgimento de iniciativas e métricas ambientais, visando integrar a sustentabilidade às decisões econômicas e financeiras. Organizações internacionais, governos e instituições financeiras têm desenvolvido padrões e *frameworks*, como os critérios ESG (Ambiental, Social e Governança) e o TCFD (*Task Force on Climate-related Financial Disclosures*), para nortear a divulgação e mensuração do risco climático. Essas diretrizes permitem aprimorar a avaliação do impacto ambiental corporativo, incentivando práticas sustentáveis alinhadas às metas globais de redução de carbono estabelecidas no Acordo de Paris.

Com o objetivo de atender às demandas internacionais e incentivar a discussão sobre a mudança do clima, a B3 criou, em 2010, o Índice Carbono Eficiente da B3 (ICO2 B3). Ele é composto por ações de companhias que apresentam comprometimento com a eficiência na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e as melhores práticas de gestão que conduzam a maior eficiência nessas emissões. A partir de 2020, a carteira do índice passou a incluir empresas do índice IBrX 100 e a partir de janeiro de 2025 também passou a contar com as

empresas do Índice Brasil Amplo (IBrA B3). A ponderação do índice é realizada a partir do coeficiente Emissão/Receita (razão entre emissões e receita bruta) e o *Score* de Gestão de Emissões de GEE (SGEE) que mede a qualidade na gestão das emissões de carbono (B3 S.A. – Brasil, Bolsa, Balcão, 2023).

A literatura acerca dos índices de sustentabilidade da B3 concentra-se no impacto no retorno das ações após a entrada no índice, mas pouco se sabe sobre a incorporação pelo mercado das informações climáticas. Mesmo que existam alguns estudos como Ferreira et al. (2022) e Gomes et al. (2017) que discutam o efeito do *disclosure* ambiental no retorno das ações, a maior parte utiliza o número de publicações, deixando de lado a análise textual. Porém, estudos recentes como Wu et al. (2022) e Lin e Wu (2023) mostram que existem efeitos estatisticamente significantes do *disclosure* de risco climático no *valuation* das ações utilizando a análise da entonação das divulgações climáticas. Desse modo, o índice ICO2 oferece um contexto único para investigar a precificação do risco climático e entender seu efeito no retorno das empresas integrantes do índice.

Este trabalho busca investigar como a divulgação do risco climático impacta o retorno das empresas listadas no índice ICO2. Para isso, analisa-se, através da Hipótese de Mercado Eficiente e o estudo de evento, o impacto da divulgação do risco climático corporativo no retorno anormal acumulado de uma amostra de empresas do índice ICO2 entre 2020 e 2023. Pretende-se, com isso, subsidiar a tomada de decisão de investidores e gestores, considerando as limitações da generalização dos resultados, e contribuir para a literatura mais abrangente de finanças climáticas.

Além desta introdução, inicia-se a revisão bibliográfica trazendo a discussão acerca da divulgação do risco climático e sua precificação pelo mercado financeiro. Em seguida, a metodologia empregada, análise dos resultados e conclusão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HIPÓTESE DE MERCADO EFICIENTE E ESTUDO DE EVENTO

A Hipótese de Mercado Eficiente (HME) postula que, em um mercado eficiente, os preços dos ativos refletem integralmente toda a informação disponível (FAMA, 1970). Como consequência, investidores não conseguem obter retornos consistentemente superiores à média, uma vez que novas informações são rapidamente incorporadas aos preços. Além disso, a competição entre agentes elimina oportunidades de arbitragem, tornando desafiador superar o retorno médio do mercado no longo prazo.

A HME classifica a eficiência de mercado em três formas: (i) eficiência fraca, em que os preços refletem todas as informações históricas; (ii) eficiência semi-forte, na qual os preços assimilam instantaneamente todas as informações publicamente disponíveis; e (iii) eficiência forte, que sugere que os preços incorporam até mesmo informações privadas (FAMA, 1970).

O estudo de evento é uma técnica econométrica de tratamento de efeitos dinâmicos que permite avaliar o efeito de um evento sobre o preço das ações (MILLER, 2023). A hipótese subjacente é que os preços refletem todas as informações disponíveis publicamente, de modo que qualquer mudança nos preços deve estar associada a novas informações. Para medir esse impacto, calcula-se o retorno anormal, definido como a diferença entre o retorno bruto e o retorno esperado. O retorno esperado representa uma estimativa do retorno que ocorreria na ausência do evento e diversas metodologias são utilizadas para essa estimativa.

O modelo CAPM, desenvolvido por Sharpe (1964) e Lintner (1965), determina o retorno esperado com base no beta da ação, que mede sua sensibilidade ao risco sistêmico. Nesse modelo, os investidores são compensados apenas pelo risco sistêmico, e não pelo risco idiossincrático. Brown e Warner (1980) apresentam o retorno esperado por média ajustada que subtrai a média do retorno de uma ação durante o período estimado do retorno da ação durante o período do evento e é consistente com o modelo CAPM. Esse método não controla explicitamente as variáveis de acordo com risco e retorno. Posteriormente, Fama e French (1993) expandiram a abordagem CAPM com um modelo de três fatores, que inclui um fator de mercado geral, além de fatores relacionados ao tamanho da empresa e ao índice *book-to-market*. Cada novo fator objetiva explicar mudanças nos dados de corte transversal que não são explicadas pelos modelos anteriores.

Brown e Warner (1985) argumentam que os retornos anormais diários podem apre-

sentar viés devido à presença de autocorrelação e à variação na volatilidade observada em torno de eventos específicos. Essas características dos dados diários podem, em parte, refletir imperfeições informacionais no mercado, como o vazamento antecipado de informações, que distorcem o comportamento dos preços em períodos muito curtos. Para mitigar esse ruído e obter uma estimativa mais robusta do impacto de um evento, é comum somar os retornos anormais diários ao longo da janela de evento, formando o Retorno Anormal Acumulado (CAR). Essa agregação ajuda a suavizar as flutuações pontuais e reduzir a influência de variações temporárias que não refletem, necessariamente, o efeito econômico subjacente ao evento.

A HME tem sido alvo de críticas desde sua formulação. Grossman e Stiglitz (1980) argumentam que é necessária alguma ineficiência no mercado para que os agentes tenham incentivo à busca por informações. Caso contrário, a arbitragem deixaria de existir, pois, se todas as informações estivessem perfeitamente refletidas nos preços, não haveria oportunidades de retorno acima da média para os investidores informados. Os autores demonstram que a obtenção e análise de informações envolvem custos e, portanto, um mercado completamente eficiente seria paradoxal, já que ninguém teria incentivo para arcar com esses custos. Dessa forma, há um equilíbrio entre eficiência e ineficiência, onde pequenas distorções nos preços garantem que novas informações sejam continuamente incorporadas ao mercado. Essa característica possibilita a exploração de novos fatores nos modelos, como a divulgação de informações sobre o clima, contribuindo para uma melhor compreensão de como o risco climático afeta a dinâmica da precificação dos ativos.

## 2.2 RISCO CLIMÁTICO E O MERCADO FINANCEIRO

Um crescente número de artigos tem explorado o efeito do risco climático no mercado financeiro. O interesse principal dos investidores é expandir o entendimento da relação entre as mudanças climáticas e a economia para a criação de um *hedge* contra riscos climáticos. Segundo Giglio, Kelly e Stroebe (2021), o risco climático pode ser dividido em categorias distintas, que podem ou não se materializar de forma imediata. Os riscos físicos decorrem do impacto direto das mudanças climáticas como eventos extremos e aumento do nível do mar, enquanto o risco de transição inclui riscos regulatórios, avanços tecnológicos e mudanças nas preferências na transição para uma economia de baixo carbono (BOLTON; KACPERCZYK, 2021).

A literatura internacional destaca como aspectos específicos do risco climático podem

afetar ativos financeiros. Bolton e Kacperczyk (2021) analisam como as emissões de carbono impactam os dados de corte transversal dos retornos das ações no mercado americano. Os autores ressaltam que os investidores estão exigindo um prêmio de carbono pela exposição ao risco climático, evidenciado pelos elevados retornos das ações com maior intensidade de carbono, sem relação com os riscos de mercado comuns. Painter (2020) demonstra que o *yield* dos títulos de renda fixa de municípios mais expostos a riscos climáticos é maior no longo prazo. Além disso, Ilhan, Sautner e Vilkov (2021) observa que o custo para a proteção de opções é mais alto para empresas intensivas em carbono, sendo exacerbado quando aumenta a atenção pública em relação às mudanças climáticas.

Um número recente de estudos, porém, procura estabelecer uma medida de risco climático corporativo. Li et al. (2024) Conduz uma análise textual da transcrição de teleconferências para quantificar a exposição do risco climático ao nível da firma. As evidências indicam que as medidas captam a exposição ao risco climático ao nível da firma. Sautner et al. (2023) Desenvolve um método de *machine learning* que identifica a atenção dos participantes de teleconferências à exposição ao risco climático. O método adapta um algoritmo de descoberta de palavras-chave para capturar a exposição a choques regulatórios, físicos e de oportunidade ligados à mudança climática. Os resultados indicam que a medida pode ser precificada no mercado de ações e de opções.

No Brasil, há um interesse crescente em avaliar a exposição de ativos financeiros a riscos climáticos. Seguindo a tendência internacional, o Banco Central do Brasil, em 2022, realizou pela primeira vez uma avaliação da exposição do sistema financeiro nacional a esses riscos. Utilizando projeções dos efeitos de secas extremas em cada município e análises de cenários, constatou-se que os setores rural e de energia são os mais vulneráveis. Além disso, embora a carteira de crédito dos municípios possa ser impactada por secas, os resultados indicaram efeitos pouco significativos (BANCO CENTRAL DO BRASIL - BC, 2022).

Paralelamente, a B3, especialmente a partir da última década, adotou índices de sustentabilidade como o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) e o Índice Carbono Eficiente (ICO2), que indicam, respectivamente, o compromisso das empresas com práticas ESG (ambientais, sociais e de governança) e a eficiência de carbono das empresas listadas.

Uma parcela significativa da literatura concentra-se na avaliação da adesão das empresas a índices de sustentabilidade e seu impacto no desempenho financeiro. Cunha et al. (2021) analisou o desempenho do Índice de Carbono Eficiente (ICO2) no Brasil entre 2010 e 2019, utilizando métricas de portfólio, como o índice de Sharpe. Os resultados indicaram que

o ICO2 superou o *benchmark* do mercado brasileiro e o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), proporcionando retornos ajustados ao risco mais competitivos. Isso sugere que investir em empresas de baixo carbono no Brasil pode melhorar o desempenho do portfólio e reduzir a exposição ao risco climático.

Por outro lado, Lima et al. (2022) comparou o desempenho econômico-financeiro das empresas do ICO2 com as demais componentes do Ibovespa no período de 2014 a 2018, utilizando indicadores como ROIC, ROE e ROA, além de testes estatísticos e análise de clusters. Os resultados não apontaram superioridade de desempenho das empresas do ICO2 em relação ao restante do mercado, corroborando grande parte das pesquisas anteriores. Esses achados ressaltam a variabilidade dos resultados na literatura e a dificuldade em estabelecer um consenso sobre a efetividade dos índices de sustentabilidade como um diferencial competitivo.

### 2.3 MENSURAÇÃO E PRECIFICAÇÃO DO *DISCLOSURE* DE RISCO CLIMÁTICO

Diversos artigos procuram atestar a relevância das informações qualitativas sobre o risco climático na precificação de ativos. Price et al. (2012) analisa transcrições de teleconferências trimestrais e conclui que a entonação ou sentimento pode prever retornos anormais e volume de negócios. Um dicionário específico de palavras mostrou-se mais eficaz que um dicionário amplo. Clarkson et al. (2013) analisa o impacto das divulgações ambientais voluntárias no valor das empresas e conclui que estratégias ambientais proativas e divulgações transparentes podem aumentar o preço das ações. Friske, Hoelscher e Nikolov (2023) analisam a relação entre relatórios voluntários de sustentabilidade e o valor da empresa (Q de Tobin), utilizando um modelo de efeitos fixos. Os resultados mostram que a divulgação desses relatórios tem uma relação inicialmente negativa com o Q de Tobin, mas que se torna mais positiva ao longo do tempo, indicando melhoria na comunicação e na avaliação pelos investidores.

Outros estudos focam na reação do mercado à divulgação do risco climático. Wu et al. (2022) analisa o impacto desse risco nas reações do mercado de ações, utilizando transcrições de *briefings* de empresas chinesas entre 2009 e 2021. Os resultados mostram que maiores riscos climáticos levam a reações negativas no curto prazo, mediadas pelo aumento das negociações, maior atenção dos investidores e redução da cobertura positiva da mídia. Nesse sentido, a divulgação climática permite aos investidores precificar os ativos de forma mais eficiente, reduzindo os efeitos da assimetria de informações. Lin e Wu (2023) propõem uma medida semelhante de divulgação de risco climático em nível corporativo, utilizando análise textual

de relatórios trimestrais e anuais de 2016 a 2020, com palavras-chave extraídas de relatórios governamentais. Os autores destacam que a escolha por esses relatórios se deve ao fato de serem voluntários. O estudo revela que uma divulgação mais positiva e engajada reduz o risco de colapso futuro dos preços das ações, principalmente pelo aumento da conscientização pública.

A literatura nacional sobre a relação entre divulgação de riscos climáticos e retorno anormal das ações ainda é limitada, com foco predominante no volume de divulgações. Essa discussão é particularmente relevante no contexto da mensuração e precificação de risco climático, que visa quantificar os impactos financeiros das mudanças climáticas e integrá-los aos modelos de avaliação de ativos. Estudos como os de Gomes et al. (2017) e Ferreira et al. (2022) investigaram o *disclosure* de riscos climáticos, mas não identificaram impactos significativos nos retornos anormais das ações. Isso indica que, mesmo com a crescente demanda por transparência ambiental, a precificação desses riscos pelos mercados pode ser incipiente ou influenciada por outros fatores, como volatilidade das ações, tamanho das empresas e indicadores fundamentalistas. Diante disso, avanços na mensuração e precificação de risco climático são cruciais para aprimorar a compreensão de como esses riscos afetam o valor das empresas e subsidiar decisões de investimento mais informadas.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DADOS E AMOSTRA

Os relatórios anuais e de sustentabilidade foram coletados no portal de dados abertos da CVM (Comissão de Valores Mobiliários) e complementados por informações disponíveis na seção de Relações com Investidores (RI) dos sites das empresas integrantes do ICO2. Os dados financeiros foram extraídos da plataforma *Statusinvest*. Após a exclusão de empresas com informações incompletas, a amostra final compreende 23 empresas no período de 2020 a 2023, totalizando 92 observações.

#### 3.2 MENSURAÇÃO DO RETORNO ANORMAL ACUMULADO

O retorno anormal acumulado (*Cumulative Abnormal Returns* - CAR) captura a reação do mercado à divulgação de novas informações. Seguindo Price et al. (2012), o retorno anormal diário é ajustado pelo tamanho e calculado da seguinte forma:

$$AR_{i,t} = Ret_{i,t} - Ret_{p,t} \quad (3.1)$$

Onde:

- $Ret_{i,t}$ : Retorno diário bruto da empresa  $i$  no dia  $t$ .
- $Ret_{p,t}$ : Retorno médio igualmente ponderado do portfólio de referência, composto por empresas do mesmo quartil de tamanho (medido em ativos totais) no dia  $t$ , calculado por:

$$Ret_{p,t} = \frac{1}{N} \sum_{j \in Q} Ret_{j,t}$$

onde  $N$  é o número total de empresas no quartil  $Q$ , e  $Ret_{j,t}$  é o retorno bruto diário da empresa  $j$  no quartil  $Q$ .

O retorno anormal acumulado para a janela de evento  $(t, t + k)$  é a soma dos retornos anormais diários nesse intervalo:

$$CAR(t, t + k) = \sum_t^{t+k} AR_{i,t} \quad (3.2)$$

onde  $t = 0$  é a data de divulgação dos relatórios e  $k$  é o número de dias após a data  $t$ .

Seguindo Price et al. (2012), a janela de evento de sessenta a vinte dias antes do evento,  $CAR(-60,-20)$ , foi utilizada para capturar a reação do mercado anterior à divulgação dos relatórios. Essa abordagem impede que os resultados sejam enviesados por outros eventos e verifica se o mercado precifica com antecedência o risco climático.

### 3.3 MENSURAÇÃO DO RISCO CLIMÁTICO CORPORATIVO

O índice de Risco Climático Corporativo (*Climate Coporate Risk* - CCR) mede a exposição das empresas a riscos climáticos com base na análise textual de relatórios anuais e de sustentabilidade. O cálculo é realizado a partir da razão:

$$CCR = \frac{n}{N} \quad (3.3)$$

onde  $n$  é contagem de palavras-chave relacionadas ao risco climático e  $N$  é o número total de palavras no relatório.

Henry e Leone (2016) argumentam que uma abordagem baseada em *machine learning* seria mais apropriada; no entanto, a contagem de palavras representa uma medida equivalente e de maior replicabilidade. Assim, as palavras associadas ao risco climático foram selecionadas com base em Li et al. (2024).

A contagem dessas palavras foi realizada em *Python* utilizando a biblioteca *nltk*, amplamente empregada na análise de linguagem natural. O processo de contagem seguiu as seguintes etapas:

- Coleta e Pré-processamento dos Relatórios : Os relatórios anuais e de sustentabilidade foram obtidos em formato PDF e convertidos para texto puro utilizando a biblioteca *PyMuPDF*, com remoção de elementos não textuais (tabelas, figuras, cabeçalhos) para evitar ruído na análise.
- Seleção de Palavras-Chave : As palavras associadas ao risco climático foram baseadas no léxico proposto por Li et al. (2024) e estão listadas no Apêndice A - Tabela 4.
- Contagem e Cálculo: A contagem efetiva das palavras foi realizada após a tokenização, remoção de pontuação, normalização (letras minúsculas e plurais), tratamento para identificação de palavras compostas e a contagem das palavras-chave e do total de palavras. O cálculo da variável CCR seguiu a razão em 3.3.

### 3.4 ESTRATÉGIA EMPÍRICA

Foram estimados, por meio da linguagem R, diferentes modelos de regressão nos quais o retorno anormal acumulado (CAR), referente à janela de evento (-60, -20), foi adotado como variável dependente. As regressões foram realizadas separadamente para cada ano, no período de 2020 a 2023, e a seleção do modelo baseou-se no  $R^2$  ajustado, sendo escolhido aquele que apresentou o melhor ajuste em cada ano. A Tabela 1 lista os modelos selecionados.

Segundo Price et al. (2012), foram incluídas variáveis de controle relacionadas às características das empresas:

- VOL: desvio padrão dos retornos diários em uma janela de evento (-90,-10), utilizado como *proxy* para a volatilidade das ações antes do evento.
- SIZE: medida do porte da empresa, calculada pelo logaritmo natural dos ativos totais ( $\ln(\text{Ativos Totais})$ ).

Tabela 1 – Modelos de Regressão

| Ano  | Modelo                                                      |
|------|-------------------------------------------------------------|
| 2020 | $CAR(-60,-20) = CCR + CCR^2 + VOL$                          |
| 2021 | $CAR(-60,-20) = CCR + SIZE + VOL$                           |
| 2022 | $CAR(-60,-20) = CCR + SIZE + VOL + SIZE \times VOL$         |
| 2023 | $CAR(-60,-20) = CCR + CCR^2 + SIZE + VOL + SIZE \times VOL$ |

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 apresenta um resumo das estatísticas das variáveis utilizadas na estimação dos modelos. Para facilitar a leitura, as variáveis CCR e  $CCR^2$  foram multiplicadas por  $10^3$ .

Tabela 2 – Estatísticas Descritivas

| Variável             | Média     | Desvio Padrão | Mínimo     | Q1        | Mediana   | Q3        | Máximo    |
|----------------------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CAR(-60,-20)         | -0.989504 | 11.632683     | -25.114824 | -7.854431 | -2.714803 | 4.837686  | 46.298622 |
| $CCR(\times 10^3)$   | 0.877570  | 0.371121      | 0.161655   | 0.596365  | 0.861843  | 1.089264  | 2.098597  |
| $CCR^2(\times 10^3)$ | 0.000906  | 0.000751      | 0.000026   | 0.000356  | 0.000743  | 0.001187  | 0.004404  |
| SIZE                 | 17.465894 | 1.460476      | 14.856686  | 16.551965 | 17.394461 | 17.881168 | 21.490536 |
| VOL                  | 0.029341  | 0.014307      | 0.008696   | 0.020487  | 0.025241  | 0.031728  | 0.073800  |
| $SIZE \times VOL$    | 0.509495  | 0.244939      | 0.150342   | 0.362708  | 0.444450  | 0.560385  | 1.242286  |

Fonte: Elaboração própria.

A variável  $CAR(-60,-20)$  apresenta retornos anormais médios negativos (-0,99), sugerindo que as empresas tiveram desempenho inferior ao esperado antes do evento. Contudo, a elevada dispersão ( $DP = 11,63$ ) revela que essa relação não é uniforme, com algumas empresas apresentando perdas significativas e outras, ganhos expressivos. A variável CCR exibe dispersão moderada ( $DP = 0,37$ ) e distribuição relativamente simétrica. A variável SIZE mostra dispersão moderada e distribuição simétrica, enquanto VOL indica volatilidade moderada. As variáveis  $CCR^2$  e  $SIZE \times VOL$  foram incluídas nos modelos para capturar, respectivamente, possíveis relações não lineares entre CAR e CCR e efeitos de interação decorrentes das diferenças setoriais que podem afetar a volatilidade conforme o tamanho da empresa. Para a estimação dos modelos da Tabela 1, todas as variáveis contínuas foram padronizadas (média = 0,  $DP = 1$ ) utilizando a transformação *z-score* ( $z = (X - \mu)/\sigma$ ).

## 4 RESULTADOS

A Tabela 3 resume os resultados dos coeficientes estimados dos modelos para cada ano e o erro padrão entre parênteses.

Tabela 3 – Resultados das Regressões

|                         | CAR(-60,-20)<br>2020  | CAR(-60,-20)<br>2021 | CAR(-60,-20)<br>2022 | CAR(-60,-20)<br>2023 |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| CCR                     | -0.565***<br>(0.164)  | 0.364*<br>(0.187)    | 0.270<br>(0.195)     | 0.459*<br>(0.225)    |
| CCR <sup>2</sup>        | 0.394**<br>(0.149)    |                      |                      | -0.339*<br>(0.161)   |
| SIZE                    |                       | -0.292<br>(0.195)    | -0.584**<br>(0.255)  | 0.164<br>(0.222)     |
| VOL                     | -0.155<br>(0.167)     | 0.403*<br>(0.194)    | -0.709***<br>(0.205) | -0.121<br>(0.245)    |
| SIZE×VOL                |                       |                      | -0.686**<br>(0.258)  | -0.146<br>(0.350)    |
| Intercepto              | -0.377*<br>(0.214)    | -0.000<br>(0.182)    | -0.252<br>(0.196)    | 0.293<br>(0.248)     |
| Observações             | 23                    | 23                   | 23                   | 23                   |
| R <sup>2</sup>          | 0.495                 | 0.342                | 0.447                | 0.333                |
| R <sup>2</sup> Ajustado | 0.415                 | 0.238                | 0.324                | 0.137                |
| Erro Padrão Residual    | 0.765 (df = 19)       | 0.873 (df = 19)      | 0.822 (df = 18)      | 0.929 (df = 17)      |
| Estatística F           | 6.201*** (df = 3; 19) | 3.290** (df = 3; 19) | 3.640** (df = 4; 18) | 1.699 (df = 5; 17)   |

Nota: \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados indicam que, em 2020, a variável CCR apresenta um coeficiente negativo (-0,565) e estatisticamente significativo ( $p < 0,01$ ), o que demonstra que a maior exposição ao risco climático nesse ano levou a uma reação negativa do mercado. Contudo, o termo quadrático CCR<sup>2</sup>, estatisticamente significativo e positivo, revela uma relação não linear, em que o efeito negativo pode ser atenuado em níveis elevados de risco climático. A volatilidade (VOL) não apresentou efeito estatisticamente significativo, embora a significância geral da regressão seja alta ( $p < 0,01$ ), indicando um bom ajuste aos dados.

Em 2021, ocorre uma inversão significativa: o coeficiente de CCR torna-se positivo (0,364) e estatisticamente significante a 10%, assim como a volatilidade apresenta efeito positivo (0,403) no mesmo nível de significância. O modelo como um todo demonstra alta significância estatística ( $p < 0,05$ ), e os resultados sugerem uma possível mudança nas preferências dos investidores em um cenário pós-pandêmico.

Em 2022, destacam-se os impactos das variáveis características das empresas em detrimento do risco climático. O tamanho da empresa (SIZE), a volatilidade (VOL) e a interação entre essas variáveis (SIZE×VOL) apresentam impacto negativo e estatisticamente significativo na variável dependente. A estatística F do modelo tem alta significância estatística ( $p < 0,05$ ), porém a variável CCR não apresenta impacto estatisticamente significativo.

Em 2023, o CCR apresenta novamente coeficiente positivo (0,459) e significância estatística marginal ( $p < 0,10$ ), porém o modelo como um todo não é estatisticamente significativo (Estatística F = 1,699). O termo quadrático CCR<sup>2</sup> mostra efeito negativo (-0,339) e significância estatística a 10%, sugerindo novamente uma relação não linear entre risco climático e retornos anormais, embora com sinais opostos aos de 2020.

Os resultados evidenciam uma relação não linear entre risco climático e retornos anormais, com padrões que podem variar significativamente em resposta a outros fenômenos, como mudanças nas preferências dos investidores ou condições macroeconômicas adversas. Nesse sentido, entre fases de penalização e valorização do CCR, destaca-se a natureza contextual dessa relação, indicando a importância de considerar fatores temporais e ambientais na análise de riscos climáticos corporativos.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo geral analisar o impacto da divulgação do risco climático corporativo no retorno anormal acumulado das empresas listadas no índice ICO2, utilizando regressões múltiplas para o período de 2020 a 2023. Além disso, buscou-se verificar a reação do mercado financeiro à divulgação de informações climáticas nos relatórios anuais e de sustentabilidade. Os resultados revelaram que o impacto do risco climático nos retornos variou significativamente no período estudado, além de apresentar uma relação não linear. Esse achado difere do observado em Wu et al. (2022), que encontrou uma relação linear e negativa entre o retorno anormal acumulado e o risco climático corporativo.

Este estudo também contribui para a literatura sobre finanças climáticas ao analisar o impacto da divulgação de relatórios de sustentabilidade e anuais no retorno das ações de empresas listadas no índice ICO2, que reúne companhias comprometidas com a transparência na comunicação de suas emissões de GEE. No entanto, algumas limitações devem ser consideradas, como o tamanho reduzido da amostra e a possível influência de variáveis não observadas. Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação da base de dados, a inclusão de variáveis adicionais relevantes e a aplicação de métodos econométricos mais robustos, como modelos de dados em painel, a fim de aprimorar a precisão das estimativas e a capacidade de generalização dos resultados.

Portanto, os achados reforçam a importância da transparência na divulgação dos riscos climáticos corporativos, evidenciando que a exposição das empresas a esses riscos pode ser precificada pelo mercado financeiro e provocar impacto significativo nos retornos dos ativos. Isso ressalta o papel estratégico da sustentabilidade na gestão de riscos e na tomada de decisão dos investidores.

## REFERÊNCIAS

- B3 S.A. – Brasil, Bolsa, Balcão. **Índice Carbono Eficiente (ICO2) – Metodologia**. B3 S.A., 2023. Disponível em: <[https://www.b3.com.br/data/files/20/B7/F0/D5/F3E009105391B9F8AC094EA8/ICO2\\_Metodologia.pdf](https://www.b3.com.br/data/files/20/B7/F0/D5/F3E009105391B9F8AC094EA8/ICO2_Metodologia.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL - BC. **Relatório de Estabilidade Financeira**. Banco Central do Brasil, 2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/publicacoes/ref/202210>>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- BOLTON, P.; KACPERCZYK, M. Do investors care about carbon risk? **Journal of financial economics**, Elsevier, v. 142, n. 2, p. 517–549, 2021.
- BROWN, S. J.; WARNER, J. B. Measuring security price performance. **Journal of financial economics**, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 205–258, 1980.
- BROWN, S. J.; WARNER, J. B. Using daily stock returns: The case of event studies. **Journal of financial economics**, Elsevier, v. 14, n. 1, p. 3–31, 1985.
- CLARKSON, P. M.; FANG, X.; LI, Y.; RICHARDSON, G. The relevance of environmental disclosures: Are such disclosures incrementally informative? **Journal of accounting and public policy**, Elsevier, v. 32, n. 5, p. 410–431, 2013.
- CUNHA, F. A. F. de S.; MEIRA, E.; ORSATO, R. J.; KLOTZLE, M. C.; LUCENA, A. F. Do low-carbon investments in emerging economies pay off? evidence from the brazilian stock market. **International Review of Financial Analysis**, Elsevier, v. 74, p. 101700, 2021.
- FAMA, E. F. Efficient capital markets. **Journal of finance**, v. 25, n. 2, p. 383–417, 1970.
- FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. Common risk factors in the returns on stocks and bonds. **Journal of financial economics**, Elsevier, v. 33, n. 1, p. 3–56, 1993.
- FERREIRA, A. S.; MENEZES, L. V. O.; SOUZA, I. G. de M.; OLIVEIRA, N. da C.; OLIVEIRA, J. S. C. de. O disclosure ambiental das empresas integrantes do índice de sustentabilidade empresarial (ISE) e o retorno anormal de seus títulos. **Revista Universo Contábil**, v. 18, 2022.
- FRISKE, W.; HOELSCHER, S. A.; NIKOLOV, A. N. The impact of voluntary sustainability reporting on firm value: Insights from signaling theory. **Journal of the Academy of Marketing Science**, Springer, v. 51, n. 2, p. 372–392, 2023.
- GIGLIO, S.; KELLY, B.; STROEBEL, J. Climate finance. **Annual review of financial economics**, Annual Reviews, v. 13, n. 1, p. 15–36, 2021.
- GOMES, S. M. da S.; KOU, D. K.; BRUNI, A. L.; OLIVEIRA, N. C. Relação entre o disclosure de riscos climáticos e o retorno anormal das empresas brasileiras. **Revista Universo Contábil**, Universidade Regional de Blumenau, v. 13, n. 2, p. 149–165, 2017.
- GROSSMAN, S. J.; STIGLITZ, J. E. On the impossibility of informationally efficient markets. **The American economic review**, JSTOR, v. 70, n. 3, p. 393–408, 1980.
- HENRY, E.; LEONE, A. J. Measuring qualitative information in capital markets research: Comparison of alternative methodologies to measure disclosure tone. **The Accounting Review**, American Accounting Association, v. 91, n. 1, p. 153–178, 2016.

ILHAN, E.; SAUTNER, Z.; VILKOV, G. Carbon tail risk. **The Review of Financial Studies**, Oxford University Press, v. 34, n. 3, p. 1540–1571, 2021.

LI, Q.; SHAN, H.; TANG, Y.; YAO, V. Corporate climate risk: Measurements and responses. **The Review of Financial Studies**, Oxford University Press, v. 37, n. 6, p. 1778–1830, 2024.

LIMA, C. R. M. de; BARBOSA, S. B.; NETO, R. de C. S.; BAZIL, D. G.; GUERRA, J. B. S. O. de A. Corporate financial performance: a study based on the carbon efficient index (ICO2) of brazil stock exchange. **Environment, Development and Sustainability**, Springer, v. 24, n. 3, p. 4323–4354, 2022.

LIN, B.; WU, N. Climate risk disclosure and stock price crash risk: The case of China. **International Review of Economics & Finance**, Elsevier, v. 83, p. 21–34, 2023.

LINTNER, J. Security prices, risk, and maximal gains from diversification. **The journal of finance**, JSTOR, v. 20, n. 4, p. 587–615, 1965.

MILLER, D. L. An introductory guide to event study models. **Journal of Economic Perspectives**, American Economic Association, v. 37, n. 2, p. 203–230, 2023.

NORDHAUS, W. D. Economic growth and climate: the carbon dioxide problem. **The American Economic Review**, JSTOR, v. 67, n. 1, p. 341–346, 1977.

PAINTER, M. An inconvenient cost: The effects of climate change on municipal bonds. **Journal of Financial Economics**, Elsevier, v. 135, n. 2, p. 468–482, 2020.

PRICE, S. M.; DORAN, J. S.; PETERSON, D. R.; BLISS, B. A. Earnings conference calls and stock returns: The incremental informativeness of textual tone. **Journal of Banking & Finance**, Elsevier, v. 36, n. 4, p. 992–1011, 2012.

SAUTNER, Z.; LENT, L. V.; VILKOV, G.; ZHANG, R. Firm-level climate change exposure. **The Journal of Finance**, Wiley Online Library, v. 78, n. 3, p. 1449–1498, 2023.

SHARPE, W. F. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. **The journal of finance**, Wiley Online Library, v. 19, n. 3, p. 425–442, 1964.

STERN, N. The economics of climate change. **American Economic Review**, American Economic Association, v. 98, n. 2, p. 1–37, 2008.

WU, N.; XIAO, W.; LIU, W.; ZHANG, Z. Corporate climate risk and stock market reaction to performance briefings in China. **Environmental Science and Pollution Research**, Springer, v. 29, n. 35, p. 53801–53820, 2022.

## ANEXO A – PALAVRAS-CHAVE RELACIONADAS AO RISCO CLIMÁTICO

Tabela 4 – Lista de Palavras-chave Relacionadas ao Risco Climático

| <b>Inglês</b>    | <b>Português</b>       | <b>Inglês</b>  | <b>Português</b>    |
|------------------|------------------------|----------------|---------------------|
| air pollution    | poluição do ar         | rainfall       | chuva               |
| air quality      | qualidade do ar        | severe winter  | inverno rigoroso    |
| carbon dioxide   | dióxido de carbono     | snow           | neve                |
| carbon emissions | emissões de carbono    | snowfall       | queda de neve       |
| climate change   | mudança climática      | snowstorm      | tempestade de neve  |
| climate risk     | risco climático        | storm          | tempestade          |
| cold season      | estação fria           | temperature    | temperatura         |
| cool summer      | verão fresco           | the arctic     | ártico              |
| degree days      | graus-dia              | the atmosphere | atmosfera           |
| drought          | seca                   | the coldest    | o mais frio         |
| earthquake       | terremoto              | the flood      | enchente            |
| extreme cold     | frio extremo           | the fog        | névoa               |
| extreme heat     | calor extremo          | the ice        | gelo                |
| flooding         | inundação              | tropical storm | tempestade tropical |
| fossil fuel      | combustível fóssil     | tsunami        | tsunami             |
| global warming   | aquecimento global     | warm winter    | inverno ameno       |
| greenhouse gas   | gás de efeito estufa   | water level    | nível da água       |
| hailstorm        | tempestade de granizo  | weather        | clima               |
| heating season   | estação de aquecimento | wildfire       | incêndio florestal  |
| high water       | maré alta              | wind hail      | granizo com vento   |
| hot summer       | verão quente           | windstorm      | tempestade de vento |
| hurricane        | furacão                |                |                     |
| lightning strike | raio                   |                |                     |
| polar vortex     | vórtice polar          |                |                     |
| precipitation    | precipitação           |                |                     |