

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**



**MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO**

**Redução de emissões de gases do efeito estufa e crescimento econômico:  
o efeito do protocolo de Kyoto**

**Guilherme Martim Beier de Oliveira e Silva**  
**2110253**

**Orientador: Lucas Lima**

**Rio de Janeiro, Novembro de 2024**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**



**MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO**

**Redução de emissões de gases do efeito estufa e crescimento econômico:  
o efeito do protocolo de Kyoto**

**Guilherme Martim Beier de Oliveira e Silva**  
**2110253**

**Orientador: Lucas Lima**

**Rio de Janeiro, Novembro de 2024**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



Guilherme Martim Beier de Oliveira e Silva

## **Redução de emissões de gases do efeito estufa e crescimento econômico: o efeito do protocolo de Kyoto**

Monografia de Final de Curso

Orientador: Lucas Lima

Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri, para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor

Rio de Janeiro, Novembro de 2024

---

## Agradecimentos

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão, em primeiro lugar, aos meus pais, que foram os maiores mentores da minha vida. Obrigado por sempre me incentivarem a perseguir meus sonhos, por acreditarem em meu potencial e por me desafiarem a superá-lo. Sou imensamente grato por estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis, oferecendo apoio incondicional. Tudo o que conquistei é fruto do amor, dos valores e das oportunidades que vocês me proporcionaram.

Agradeço também a todos os professores que tive ao longo desta jornada. Cada um de vocês, de alguma forma, contribuiu para o meu crescimento como indivíduo e como futuro profissional. Esses anos foram fundamentais na minha vida, e sou extremamente grato por terem compartilhado seu tempo, dedicação e sabedoria comigo.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo investigar, no contexto da crise climática das últimas décadas, a relação entre o crescimento econômico dos países e suas emissões de gases de efeito estufa. O estudo utiliza como principal referência o Protocolo de Kyoto, marco em que diversas nações se comprometeram com um objetivo comum de mitigar a intensificação e os impactos dos desastres naturais. Com esta análise, busca-se oferecer uma compreensão mais aprofundada sobre a dinâmica entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais eficazes no combate às mudanças climáticas e na promoção do desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Protocolo de Kyoto; Crescimento Econômico; Emissão de GEE

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>8</b>
1.1 Motivação.....	8
<b>2. O Protocolo de Kyoto: Contexto e Relevância.....</b>	<b>10</b>
2.1. O que foi o Protocolo de Kyoto?.....	10
2.2. Contexto Geopolítico e Ambiental.....	10
2.3. Mecanismos de Implementação.....	11
2.4. Resultados e Impacto.....	11
2.5. Críticas e Desafios.....	12
2.6. Legado e Contribuição para a Governança Climática.....	12
<b>3. Revisão de Literatura.....</b>	<b>14</b>
<b>4. Seleção e Coleta de Dados para Análise.....</b>	<b>17</b>
4.1. Seleção das Variáveis e Fontes de Dados.....	17
4.2. Contextualização dos Gases de Efeito Estufa.....	18
4.3. Limitações na Disponibilidade de Dados.....	19
4.4 Análise Preliminar dos Dados.....	20
<b>5. Metodologia.....</b>	<b>24</b>
5.1. Modelo MQO.....	25
5.2. Modelo Logit.....	26
<b>6. Resultados Obtidos.....</b>	<b>27</b>
<b>7. Conclusão.....</b>	<b>34</b>
<b>8. Referências Bibliográficas:.....</b>	<b>35</b>

## **Lista de Gráficos**

<b>Gráfico 1</b> - Emissão de GEE em toneladas per capita (1990-2021).....	<b>20</b>
<b>Gráfico 2</b> - Variação YoY de emissão per capita de GEE (1990-2021).....	<b>21</b>
<b>Gráfico 3</b> - Variação YoY de emissão per capita de GEE (2008-2012).....	<b>22</b>

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1 - Resultado modelo OLS.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 2 - Modelo com dummies baseado no número absoluto de desastres.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 3 - Modelo logit baseado no alcance de metas dos países.....</b>	<b>32</b>

## **1. Introdução**

Nas últimas décadas, o debate sobre as mudanças climáticas e seu impacto no desenvolvimento econômico global tem se intensificado, destacando a necessidade urgente de soluções internacionais. A crescente incidência de desastres naturais associados a essas mudanças representam uma séria ameaça ao planeta e à sociedade humana têm levado à busca por acordos internacionais que visem a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Diante desse contexto, o Protocolo de Kyoto se apresenta como um marco importante na luta contra as mudanças climáticas. Pela primeira vez na história, as forças geopolíticas se uniram para endereçar a questão da intensificação e agravamento dos desastres naturais. De acordo com Shislov e Morel (2016), o principal mecanismo de comprometimento do Protocolo foi a determinação de metas de redução de emissão dos gases efeito estufa (GEE) para países tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento. No Protocolo de Kyoto, os países tinham como meta reduzir suas emissões em 5% durante o período de 2008 e 2012, comparando com um ano base de valor de emissões, sendo 1990 o mais comum. O estudo mencionado observou que dos 36 países que ratificaram o protocolo, apenas nove emitiram GEE em níveis acima do que havia sido comprometido, representando um sucesso parcial para o acordo internacional.

Entretanto, a compreensão ao redor do impacto real em termos de crescimento econômico ainda requer um estudo aprofundado. Este trabalho tem como principal objetivo analisar a relação entre a redução das emissões de gases de efeito estufa e o crescimento econômico dos países signatários do Protocolo de Kyoto.

### **1.1 Motivação**

A motivação desta monografia é contribuir para uma melhor compreensão dos impactos do Protocolo de Kyoto no crescimento econômico dos países signatários. Desta maneira, os resultados da pesquisa poderão auxiliar na formulação de políticas públicas mais eficazes para combater as mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável. As mudanças climáticas representam uma séria ameaça ao planeta e à sociedade humana, com modelos estimando um impacto no crescimento econômico mundial de 19% sobre a receita nos próximos 26 anos (Koltz; Levermann, 2024). Logo, sustentabilidade e crise climática

serão temas que irão aparecer cada vez mais nos próximos anos como tópicos de discussão em relação ao futuro da sociedade.

Para os legisladores, tomar uma atitude que, inicialmente, possa impactar negativamente a economia do país é um desafio e exige dados e análises detalhadas para tomar a decisão mais informada. Por esse motivo, compreender o impacto econômico das políticas de redução de emissões torna-se algo fundamental para orientar a formulação de políticas públicas que equilibrem o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade ambiental. Através dessa ótica, esperamos obter resultados que facilitem esse processo de tomada de decisão.

## **2. O Protocolo de Kyoto: Contexto e Relevância**

### **2.1. O que foi o Protocolo de Kyoto?**

O Protocolo de Kyoto, assinado em 1997 e implementado em 2008, é um dos marcos mais significativos no esforço global para combater as mudanças climáticas. Tratou-se do primeiro acordo internacional que estabeleceu metas claras para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por parte de países desenvolvidos e em desenvolvimento. O acordo surgiu em resposta ao aumento da conscientização sobre o papel das atividades humanas no aquecimento global, especialmente a partir da Revolução Industrial, e à necessidade urgente de ações coordenadas para mitigar seus efeitos.

O principal objetivo do Protocolo de Kyoto era reduzir as emissões globais de GEE em aproximadamente 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período de 2008 a 2012, conhecido como o primeiro período de compromisso. Essa meta foi distribuída, inicialmente, entre 38 países industrializados e economias em transição, que se comprometeram a atingir suas respectivas cotas de redução.

### **2.2. Contexto Geopolítico e Ambiental**

O Protocolo de Kyoto foi adotado em um momento em que as evidências científicas sobre as mudanças climáticas se tornavam cada vez mais claras. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) já havia publicado relatórios indicando a correlação entre a concentração de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e o aumento das temperaturas globais.

A década de 1990 foi marcada por uma série de eventos climáticos extremos, como secas, inundações e tempestades, que colocaram o aquecimento global no centro das discussões políticas internacionais. Essas discussões culminaram na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em 1992, durante a Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, que posteriormente levou à criação do Protocolo de Kyoto.

No cenário geopolítico, as negociações de Kyoto refletiram a divisão entre os países desenvolvidos, principais responsáveis pelas emissões históricas de GEE, e os países em desenvolvimento, que argumentavam a necessidade de priorizar o crescimento econômico e aliviar a pobreza.

### 2.3. Mecanismos de Implementação

Para alcançar as metas estabelecidas, o Protocolo de Kyoto introduziu três mecanismos de flexibilização, que permitiram aos países maior liberdade para reduzir suas emissões de forma eficiente em termos de custo. São eles:

1. **Comércio de Emissões:** Também conhecido como "mercado de carbono", permitia que os países que estavam abaixo de suas metas de emissão vendessem suas cotas de carbono para países que excediam suas metas. Esse sistema criou um mercado internacional de permissões de emissão, incentivando a eficiência na redução de GEE.
2. **Implementação Conjunta (Joint Implementation - JI):** Esse mecanismo permitia que os países desenvolvidos investissem em projetos de redução de emissões em outros países desenvolvidos, acumulando créditos de emissão adicionais, chamados de Unidades de Redução de Emissões (ERU).
3. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL):** Através do MDL, os países desenvolvidos podiam investir em projetos de mitigação nos países em desenvolvimento, como projetos de energia renovável e eficiência energética. Esses investimentos geravam Créditos de Redução Certificada de Emissões (CER), que podiam ser usados para cumprir as metas de emissão.

Esses mecanismos visavam proporcionar maior flexibilidade aos países signatários, reduzindo os custos de cumprimento e incentivando a inovação tecnológica e a transferência de tecnologia entre as nações.

### 2.4. Resultados e Impacto

Embora o Protocolo de Kyoto tenha representado um avanço importante nas negociações climáticas internacionais, seus resultados foram mistos. Dos 36 países que ratificaram o protocolo, apenas nove emitiram mais GEE do que o permitido em suas metas, evidenciando um sucesso parcial do compromisso internacional. No geral, as emissões globais caíram, em parte, devido à recessão econômica global após a crise de 2008, que reduziu a atividade industrial e as emissões associadas a essa prática.

Outro ponto relevante a ser destacado foi a retirada dos Estados Unidos do Protocolo em 2001, que enfraqueceu o acordo, pois o país era um dos maiores emissores de GEE à época. Além disso, países em rápido desenvolvimento, como China e Índia, não estavam

obrigados a reduzir suas emissões, uma vez que não haviam ratificado o Protocolo, o que levou a um aumento significativo nas emissões globais.

Apesar dessas limitações, o Protocolo de Kyoto foi essencial para estabelecer uma governança climática internacional e introduzir o conceito de metas vinculantes de redução de emissões. Ele também abriu caminho para a criação de novos acordos, como o Acordo de Paris de 2015, que visa um engajamento mais amplo e ambicioso de diferentes países na luta contra as mudanças climáticas.

## **2.5. Críticas e Desafios**

O Protocolo de Kyoto enfrentou críticas desde o início. Um dos principais pontos foi o caráter limitado do acordo, que não incluiu grandes economias emergentes, como China e Índia, e perdeu a participação dos Estados Unidos, que consideravam o acordo prejudicial ao seu crescimento econômico.

Outra crítica significativa envolveu os mecanismos de flexibilização. Muitos argumentaram que o mercado de carbono e o MDL criaram incentivos distorcidos e não conseguiram reduzir as emissões de forma eficaz. Houve também preocupações sobre a verificação dos projetos de MDL, já que alguns projetos recebiam créditos sem necessariamente contribuir para reduções reais de emissões.

Além disso, o impacto econômico das medidas propostas pelo protocolo foi motivo de debate. O custo de implementar políticas de redução de emissões variava amplamente entre os países, e alguns governos argumentaram que os sacrifícios econômicos, particularmente em tempos de recessão, eram excessivos.

## **2.6. Legado e Contribuição para a Governança Climática**

O legado do Protocolo de Kyoto vai além de suas metas de redução de emissões. Ele foi um ponto de partida para a criação de uma estrutura de governança climática internacional. O protocolo introduziu o conceito de metas obrigatórias de emissões, mecanismos de mercado para promover reduções de carbono e, talvez mais importante, o reconhecimento de que a cooperação internacional é vital para enfrentar um problema tão vasto e complexo quanto as mudanças climáticas.

Além disso, o Protocolo de Kyoto pavimentou o caminho para o Acordo de Paris, adotado em 2015, que ampliou a participação de países em desenvolvimento e estabeleceu metas mais flexíveis e adaptáveis, visando manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C. O Acordo de Paris incorporou lições importantes aprendidas durante a implementação de

Kyoto, especialmente no que diz respeito à inclusão de mais países e à consideração das diferentes realidades econômicas.

### 3. Revisão de Literatura

A revisão de literatura desta monografia aborda os principais estudos que visam a análise do Protocolo de Kyoto tanto no aspecto de crescimento econômico quanto no impacto ambiental dos países signatários. Desde a concepção do Protocolo de Kyoto em 1994 foram desenvolvidos diferentes estudos relacionados às possíveis implicações econômicas e eficácia do projeto. Cada estudo apresentou diferentes abordagens, tanto qualitativa quanto quantitativa, com o uso de regressões DID, desenvolvimento de modelos de maximização econômica etc.

Além disso, é possível classificar os estudos em duas categorias: os realizados antes da implementação do Protocolo de Kyoto e os realizados após sua implementação. Inicialmente, as pesquisas eram teóricas, uma vez que o Protocolo só entrou em vigor em 2008 e foi concluído em 2012. Com o término do Protocolo, os especialistas passaram a analisar os dados obtidos para tirar conclusões sobre seus resultados e impactos reais.

Diferentes fontes foram analisadas com o intuito de obter um panorama das diferentes abordagens e resultados encontrados na literatura existente. Esta seção será estruturada em torno dos estudos com insights relevantes e das principais questões investigadas: a eficácia ambiental e econômica do Protocolo de Kyoto, a conformidade dos países signatários, e as lições aprendidas com a implementação do protocolo.

Nordhaus, William D., and Joseph G. Bayer. em "Requiem for Kyoto: an economic analysis of the Kyoto Protocol." realizaram um dos primeiros estudos após a elaboração do Protocolo de Kyoto usando o modelo RICE-98. Eles argumentam que o protocolo é ineficiente e propõem políticas alternativas para atingir os objetivos ambientais de forma mais econômica. A análise destaca as complexas ramificações econômicas e ambientais do Protocolo de Kyoto. Embora o protocolo tenha como objetivo abordar as mudanças climáticas, sua estrutura rígida e escopo limitado resultam em elevados custos econômicos para os países. O estudo enfatiza a necessidade de abordagens alternativas para a mitigação das mudanças climáticas que sejam mais economicamente eficientes e abordem de forma eficaz a natureza global do problema.

Cooper, Adrian, et al. em "The economic implications of reducing carbon emissions: A cross-country quantitative investigation using the Oxford Global Macroeconomic and Energy Model." discutem sobre os custos de redução de emissões de gases de efeito estufa

usando o Modelo Oxford que faz uma abordagem pela macroeconomia e energia global. O Modelo Oxford integra dados econômicos e energéticos para prever como diferentes políticas de redução de carbono afetam as economias nacionais e globalmente. A análise abrange múltiplos cenários de políticas climáticas, variando em termos de rigor e abrangência. O artigo enfatiza que as implicações econômicas da redução das emissões de carbono são complexas e influenciadas por diversos fatores. O modelo fornece uma perspectiva diferente para compreender as complexidades e os impactos potenciais de diferentes opções de políticas.

Fischer, Carolyn, and Richard D. Morgenstern. em "Carbon abatement costs: why the wide range of estimates?." explora as razões por trás da ampla gama de estimativas para o custo da redução das emissões de carbono, especialmente aquelas associadas ao cumprimento das metas do Protocolo de Kyoto. Os autores conduzem uma meta-análise de simulações de modelos econômico-energéticos recentes para identificar os fatores mais críticos que impulsionam a variação de custos. A exploração dessas questões revela a interação de fatores econômicos e políticos que influenciam as estimativas de custo de redução de carbono. As percepções derivadas da análise podem orientar o desenvolvimento de práticas de modelagem mais refinadas e informar decisões políticas relacionadas à mitigação das mudanças climáticas.

Shishlov, Igor, Romain Morel, and Valentin Bellassen. em "Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period." realizam uma análise ao redor do cumprimento das políticas de redução de emissão dos gases efeito estufa dos países signatários do Protocolo de Kyoto durante o primeiro período de compromisso (2008-2012). Esse estudo é um dos principais para a compreensão dos agentes presentes e eventos que influenciaram os resultados finais do Protocolo. De acordo com os autores, a maioria dos países desenvolvidos (Partes do Anexo I) cumpriu suas metas de redução de emissões durante o primeiro período. Eles destacam que, em muitos casos, a conformidade foi alcançada graças a uma combinação de políticas domésticas e uso dos mecanismos de flexibilidade. Apesar de algumas falhas e desafios, o Protocolo de Kyoto representou um passo importante na governança climática internacional. O cumprimento das metas por muitos países demonstra a viabilidade de acordos multilaterais de redução de emissões, embora haja necessidade de melhorias nos mecanismos de implementação e verificação.

Kim, Yoomi, Katsuya Tanaka, and Shunji Matsuoka. em "Environmental and economic effectiveness of the Kyoto Protocol." avaliam a eficácia ambiental e econômica do Protocolo de Kyoto. Os autores usam um modelo econométrico para analisar o impacto do Protocolo nas emissões de CO<sub>2</sub> e no desempenho econômico. Eles concluem que, embora o Protocolo tenha levado a algumas reduções de emissões, ele também teve um impacto negativo no crescimento econômico.

Nordhaus, William D. "To tax or not to tax: Alternative approaches to slowing global warming." avalia as diferentes formas de abordar a questão política e econômica da crise climática. Comparam-se diferentes mecanismos de controle como o Protocolo de Kyoto. A análise foca em problemas como as metas de emissão de gases, performance sobre condições de incerteza e potenciais para corrupção. O estudo chega então à conclusão de que abordagens baseadas no preço, como os impostos sobre o carbono, têm grandes vantagens para endereçar a questão da crise climática.

## 4. Seleção e Coleta de Dados para Análise

### 4.1. Seleção das Variáveis e Fontes de Dados

Para realizar uma análise completa do impacto econômico sobre os países signatários do Protocolo de Kyoto, foram coletados dados relevantes para cada um dos 36 países que participaram do programa. As variáveis escolhidas para este estudo refletem os principais determinantes da relação entre políticas ambientais e crescimento econômico. O PIB foi selecionado como indicador primário de crescimento econômico, enquanto a população foi incluída para normalizar os dados em uma base per capita, facilitando comparações entre países. As emissões de GEE foram selecionadas como a principal métrica de impacto ambiental, refletindo o objetivo do Protocolo de Kyoto de reduzir esses níveis. A taxa de juros real foi incluída para capturar a influência das condições macroeconômicas sobre o crescimento. Finalmente, os desastres naturais foram considerados devido ao seu impacto significativo tanto nas economias quanto nas emissões de GEE, conforme descrito por estudos como Shishlov et al. (2016).

O PIB foi extraído do banco de dados do World Bank (Banco Mundial), conhecido por sua cobertura de indicadores econômicos. As emissões de Gases de Efeito (GEE) e a população de cada país e as taxas de juros foram coletadas da OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), que oferece séries temporais detalhadas para essas variáveis. As séries históricas abrangem o período de 1990 a 2021, permitindo uma visualização ampla dos padrões e tendências tanto durante o período de implementação do Protocolo de Kyoto quanto os anos que o antecederam e subsequentes, viabilizando uma análise comparativa robusta. As taxas de juros reais dos países foram calculadas a partir das taxas de inflação e das taxas de juros interbancárias durante o período de 2001 e 2021.

Por fim, foram obtidos os dados sobre os desastres naturais ocorridos nos países signatários através da organização EM-DAT (The International Disaster Database). Estes estão segmentados por secas, temperaturas extremas, inundações, tempestades e queimadas. A inclusão de desastres permite um controle adicional para os efeitos que podem influenciar tanto o crescimento econômico quanto as emissões de GEE, destacando a importância desse dado para isolar efeitos de políticas climáticas dos efeitos de desastres naturais.

Esses dados proporcionam uma base sólida para identificar correlações e realizar análises estatísticas que explorem a relação entre a adesão ao Protocolo de Kyoto e o

crescimento econômico dos países signatários. Além disso, eles permitem controlar o impacto de variáveis externas e fornecer uma análise sobre os efeitos econômicos das políticas ambientais implementadas durante este período.

#### 4.2. Contextualização dos Gases de Efeito Estufa

O banco de dados sobre emissões de gases de efeito estufa por país, elaborado pela OECD, considera à soma de sete gases que exercem efeitos diretos nas mudanças climáticas: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), clorofluorcarbonetos (CFCs), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) e trifluoreto de nitrogênio ( $\text{NF}_3$ ). Além disso, é importante ressaltar que cada um desses gases possui diferentes impactos atmosféricos, variando em intensidade de absorção de energia e em sua meia-vida.

Por exemplo, o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) apresentam diferenças significativas em seus impactos sobre o efeito estufa e na longevidade na atmosfera. Embora o metano tenha uma meia-vida atmosférica mais curta, cerca de 12 anos, ele é aproximadamente 25 vezes mais potente que o  $\text{CO}_2$  na absorção de calor em um período de 100 anos. Assim, embora o  $\text{CO}_2$  permaneça na atmosfera por séculos e contribua para o aquecimento a longo prazo, o metano causa um impacto inicial mais intenso, afetando diretamente o aquecimento global em um período mais curto.

Um estudo do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) destaca que, em função dessas características, esforços para reduzir emissões de  $\text{CH}_4$  podem resultar em efeitos de resfriamento mais rápidos, enquanto a mitigação de  $\text{CO}_2$  é essencial para estabilizar o aquecimento global a longo prazo. Essa análise diferencia o papel dos gases na formulação de políticas de curto e longo prazo para o combate às mudanças climáticas.

A partir dessa perspectiva, desde 1990, o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) adotou a métrica do *Potencial de Aquecimento Global* (GWP, na sigla em inglês para *Global Warming Potential*) como forma de facilitar a comparação do impacto climático entre os diversos gases de efeito estufa presentes na atmosfera. O GWP oferece uma medida padronizada ao avaliar o efeito de aquecimento de uma tonelada de um determinado gás em relação ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que é o gás de referência.

Essa métrica é calculada considerando a quantidade de energia que uma tonelada do gás em questão consegue absorver ao longo de um período específico - geralmente, um

horizonte temporal de 100 anos. Assim, o GWP traduz a diferença de impacto entre gases com diferentes propriedades de aquecimento e durações na atmosfera, permitindo comparações diretas. Por exemplo, gases como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) possuem valores de GWP superiores ao do  $\text{CO}_2$ , refletindo sua maior capacidade de reter calor em um curto período, mesmo que tenham uma vida atmosférica menor.

### 4.3. Limitações na Disponibilidade de Dados

A obtenção de dados completos e consistentes apresentou diferentes desafios para esta análise. Variáveis como taxa de inflação e juros apresentaram uma ausência de dados essenciais para a realização de regressões, particularmente para países da ex-União Soviética nos anos iniciais da década de 1990. Por exemplo, a República Tcheca, um dos países signatários do Protocolo de Kyoto, foi oficialmente estabelecida apenas em 1993, resultando na ausência de dados para o período inicial de 1990. Essa limitação exigiu ajustes, como a exclusão de algumas observações, o que pode introduzir um viés ao estudo.

Além disso, países menores como Mônaco e Liechtenstein não possuíam dados concretos em relação à emissão de gases efeito estufa na mesma base de dados da OECD durante o período analisado, o que resultou na necessidade de exclusão desses países na análise. Como ambos possuem uma população pequena de menos de 40.000 habitantes no ano de 2024, a ausência deles nos cálculos não deve impactar fortemente os resultados.

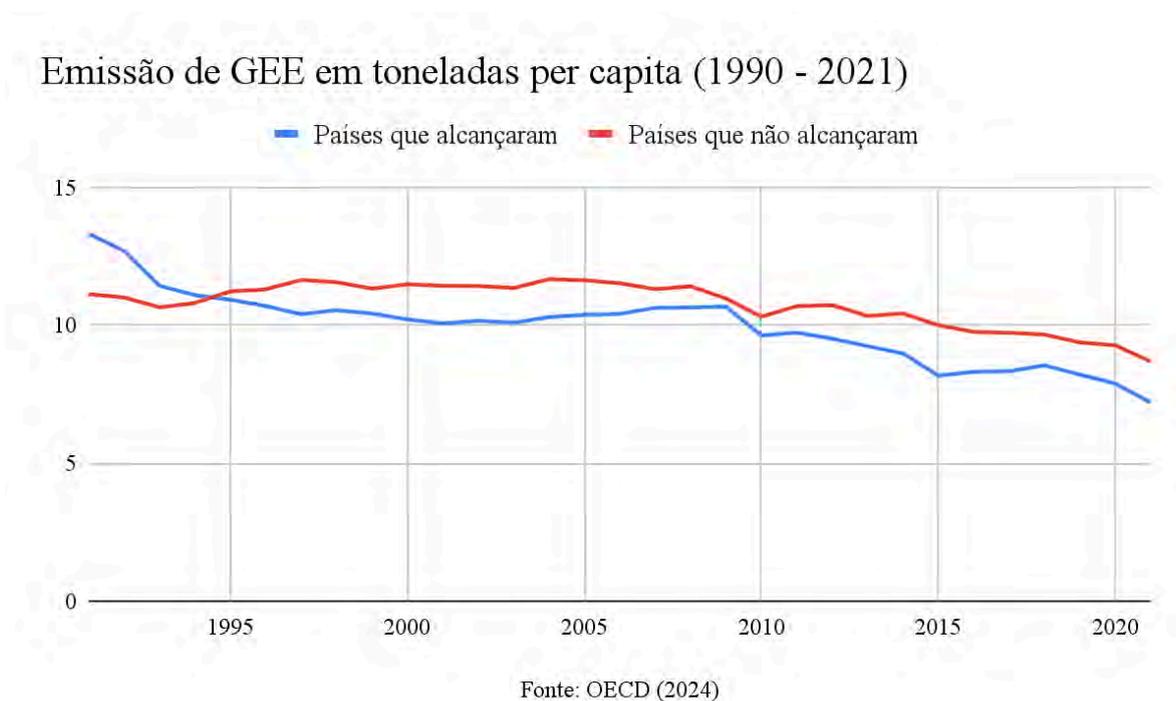
Outro ponto importante é que a base de dados da OECD fornece apenas os valores absolutos das emissões de gases de efeito estufa, sem ajustar para o Potencial de Aquecimento Global (GWP) de cada tipo de gás. Essa ausência de ponderação não permite uma comparação totalmente precisa entre diferentes tipos de gases, o que poderia alterar a avaliação do impacto ambiental dos países estudados.

Apesar das limitações pontuais na disponibilidade de dados, a coleta realizada para este estudo contempla os principais períodos de implementação e efeitos do Protocolo de Kyoto. Com essa base sólida de dados, é possível realizar uma análise preliminar robusta dos impactos econômicos e ambientais associados ao protocolo, permitindo insights sobre a efetividade das políticas ambientais adotadas e as inter-relações com o crescimento econômico dos países signatários.

#### 4.4 Análise Preliminar dos Dados

A seguir, apresentamos gráficos que ilustram as tendências de emissões de gases de efeito estufa (GEE) per capita e a evolução do PIB nos países signatários do Protocolo de Kyoto, com distinção entre aqueles que alcançaram ou não suas metas. O Gráfico 1 demonstra a trajetória das emissões per capita ao longo de 1990 até 2021. O Gráfico 2 detalha as variações anuais das emissões entre o mesmo período analisado no gráfico prévio, destacando as flutuações e padrões observados. Por fim, o Gráfico 3 foca no período de 2008 a 2012, quando as metas do Protocolo estavam em vigor, oferecendo uma análise mais profunda das mudanças durante este intervalo.

##### Gráfico 1



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da OECD

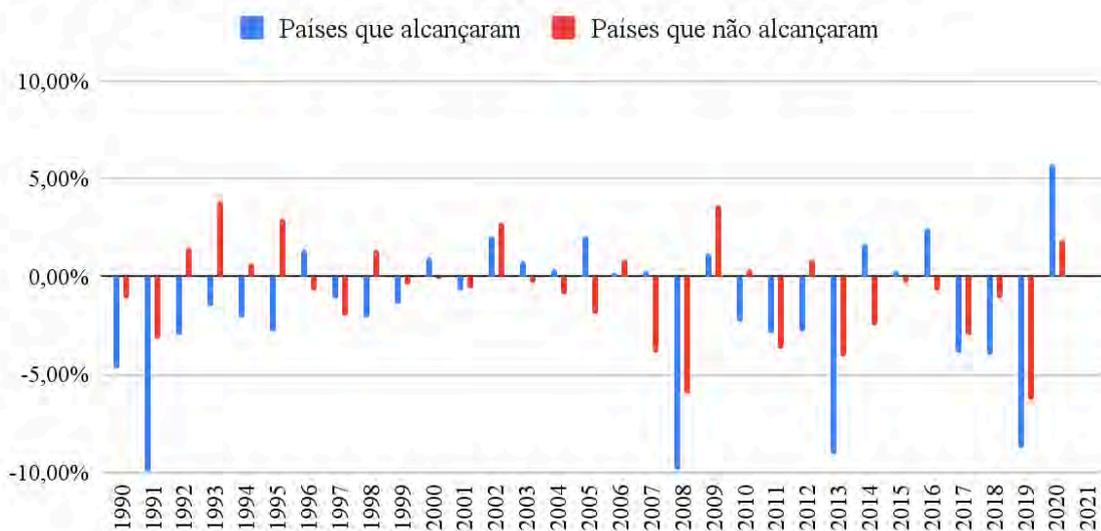
Durante o período de 1990 a 2021, as emissões de gases de efeito estufa per capita demonstraram uma redução significativa. Os países signatários do Protocolo de Kyoto que atingiram suas metas apresentaram uma redução média de 46% nas emissões, em comparação

com os níveis iniciais. Em contrapartida, aqueles que não alcançaram as metas reduziram suas emissões em uma média de apenas 22%.

A análise das duas classificações revela que os países que não atingiram suas metas tinham, em média, menores emissões per capita. Em 1990, os países que cumpriram suas metas emitiram, em média, 13,315 toneladas per capita, enquanto aqueles que não atingiram suas metas emitiram 11,125 toneladas. Essa diferença sugere que os países com menores emissões iniciais podem ter enfrentado mais desafios em identificar e implementar estratégias de redução adicionais, possivelmente devido a limitações em infraestrutura energética ou outras alavancas de mitigação. Conforme destacado por Shislov (2016), fatores como infraestrutura energética se tornam importantes alavancas de redução de emissão com variações significativas entre os países, influenciando os resultados observados.

## Gráfico 2

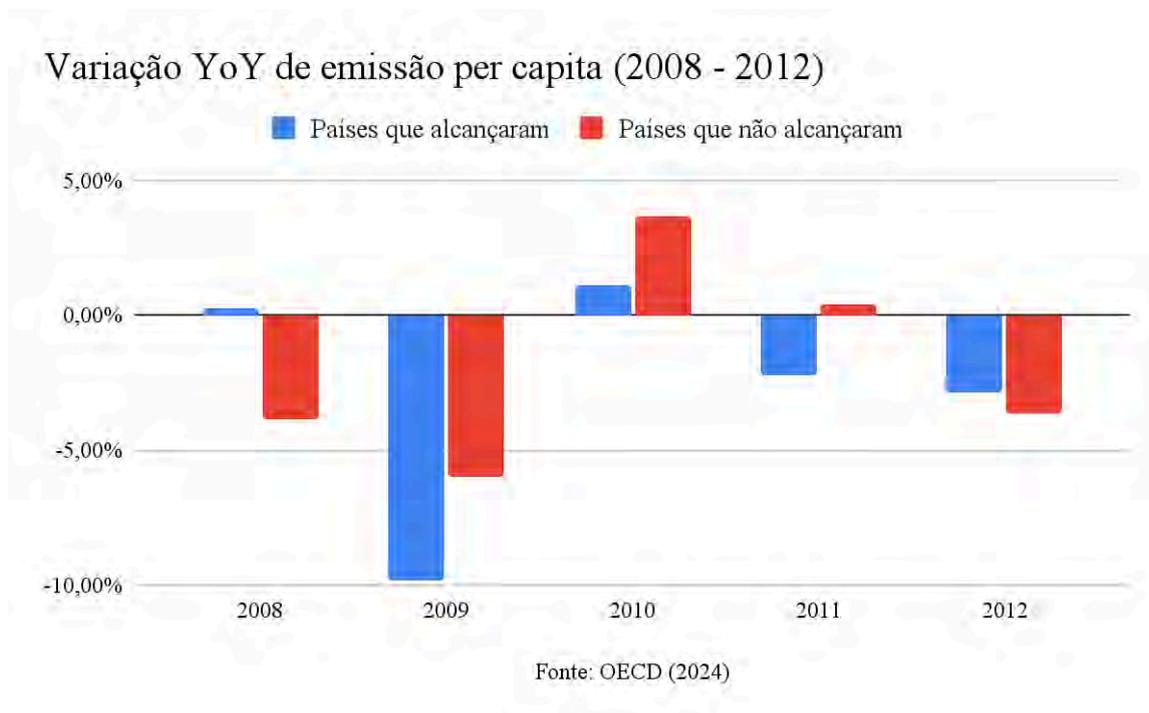
Variação YoY de emissão per capita (1990 - 2021)



Fonte: OECD (2024)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da OECD

Gráfico 3



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da OECD

Ao analisar o período de vigência efetiva do Protocolo de Kyoto (2008-2012), observa-se que a crise financeira global de 2008 teve um impacto significativo na redução das emissões per capita, corroborando as observações de Shislov et al. (2016). Nesse intervalo, os países que cumpriram suas metas apresentaram uma redução média de aproximadamente 10% nas emissões, enquanto aqueles que não atingiram suas metas registraram uma diminuição de cerca de 6%.

Essa diminuição nas emissões pode ser atribuída à desaceleração econômica global causada pela crise. A retração econômica resultou em uma diminuição na produção industrial, no consumo de energia e nas atividades econômicas em geral, que são grandes contribuintes para as emissões de GEE.

Tal período demonstra a relação entre crescimento econômico e emissões de GEE, na qual crises econômicas, embora negativas em muitos aspectos, podem levar a reduções temporárias nas emissões. Os resultados encontrados são consistentes com a literatura existente, como o estudo de Nordhaus (2006), que também destaca o trade-off entre crescimento econômico e redução de emissões.

Esse fenômeno também traz à tona questões sobre a resiliência das economias em manter reduções de emissões em tempos de recuperação econômica. A retomada do

crescimento econômico, muitas vezes, é acompanhada por um aumento nas emissões, o que exige uma reflexão sobre como políticas ambientais eficazes podem ser integradas aos planos de recuperação econômica para garantir que os ganhos ambientais temporários não sejam rapidamente revertidos e que as eventuais perdas sejam mitigadas na medida do possível.

## 5. Metodologia

Inicialmente, é realizada uma regressão com dados em painel utilizando o modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para analisar a relação entre emissões de gases de efeito estufa e o crescimento econômico. Além disso, será utilizado um modelo logit para estimar o impacto de diferentes variáveis na probabilidade de os países atingirem suas metas de redução de emissões.

No contexto de dados em painel - que combinam observações de múltiplos países ao longo do tempo - o MQO permite capturar variações tanto entre países (efeitos entre indivíduos) quanto ao longo do tempo (efeitos temporais). Essa característica é essencial para este estudo, pois ajuda a controlar variáveis não observadas que podem diferir entre países e permanecer relativamente constantes ao longo do tempo, como políticas nacionais específicas ou características econômicas estruturais. Além disso, o MQO facilita a inclusão de variáveis de controle, como taxa de juros e ocorrências de desastres naturais, que ajudam a isolar o impacto direto das emissões de GEE no PIB.

O modelo logit é adequado para este estudo porque permite analisar a probabilidade de um evento binário ocorrer, neste caso, o cumprimento ou não das metas de redução de emissões de gases de efeito estufa pelos países signatários do Protocolo de Kyoto. Como a variável dependente é binária - onde "1" indica que o país atingiu sua meta e "0" indica que não atingiu - o modelo logit é apropriado para prever essa probabilidade com base em variáveis explicativas, como crescimento econômico, taxa de juros e frequência de desastres naturais.

Assim, o logit oferece uma visão complementar ao modelo MQO, ajudando a entender não apenas a relação entre variáveis contínuas, mas também as condições que favorecem o sucesso ou fracasso no cumprimento dos objetivos de contenção da crise climática.

### 5.1. Modelo MQO

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot E_t + \beta_2 \cdot X_t + \varepsilon_t$$

Esta equação representa uma regressão onde a variável dependente ( $\Delta Y_t$ ) é a variação do PIB (Produto Interno Bruto) no tempo  $t$ . A equação inclui:

- **$\beta_0$** : Intercepto da regressão.
- **$\beta_1$** : Coeficiente que mede o impacto das variações de emissões de carbono per capita ( $E_t$ ) na variação do PIB.
- **$\beta_2$** : Coeficiente que representa o impacto das variáveis de controle ( $X_t$ ) na variação do PIB. As variáveis de controle incluem fatores como taxa de juros reais de cada país e usamos dummies que indicam o número de desastres climáticos ocorridos no país durante o período em análise.
- **$\varepsilon_t$** : Termo de erro, que captura os fatores não observados que influenciam a variação do PIB.

A equação busca quantificar como as emissões de carbono ( $E_t$ ) e outras variáveis de controle ( $X_t$ ) afetam a variação do PIB ( $\Delta Y$ ). Um coeficiente  $\beta_1$  positivo indicaria que um aumento nas emissões de carbono está associado a um aumento na variação do PIB, enquanto um coeficiente negativo sugeriria o contrário. As variáveis de controle ( $X_t$ ) são incluídas para isolar o efeito das emissões de carbono, garantindo que os resultados não sejam enviesados por outros fatores que também possam influenciar o PIB.

O uso da variável que representa a ocorrência de desastres climáticos nos países estudados ao longo dos anos serve para captar eventos inesperados, como secas e inundações. A hipótese subjacente é que tais desastres têm um impacto direto no PIB e podem levar a uma redução nas emissões de gases de efeito estufa, fornecendo assim uma base para identificar a relação entre emissões e crescimento econômico.

## 5.2. Modelo Logit

O modelo logit foi escolhido para estimar a probabilidade de os países signatários atingirem suas metas de redução de emissões, considerando variáveis como crescimento econômico, taxas de juros e a frequência de desastres naturais.

$$\log(P(Y=1) - \log(P(Y=0))) = \beta_0 + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \beta_3.X_3$$

- **Y (Cumprimento das Metas):** A variável dependente Y é binária, onde Y=1 indica que o país cumpriu suas metas de redução de emissões, e Y=0 indica que não cumpriu.
- **$\beta_0$ :** Coeficiente que representa o intercepto, a base da probabilidade de cumprimento das metas na ausência de qualquer efeito das variáveis explicativas.
- **$\beta_1$ :** O coeficiente associado à taxa de crescimento do PIB mostra como a variação econômica impacta a probabilidade de cumprimento das metas. Se  $\beta_1$  for positivo, indica que o crescimento econômico aumenta a chance de cumprimento.
- **$\beta_2$ :** Este coeficiente indica o efeito das taxas de juros médias sobre a probabilidade de cumprir as metas climáticas, onde valores negativos indicariam uma relação inversa.
- **$\beta_3$ :** Coeficiente que capta a relação entre a frequência de desastres e o cumprimento das metas, com a hipótese de que desastres podem resultar em políticas de mitigação que aumentem as chances de cumprimento.

No modelo logit, um coeficiente positivo indica que o aumento da variável explicativa está associado a um aumento na probabilidade de cumprimento das metas, enquanto um coeficiente negativo sugere o oposto. Por exemplo, um coeficiente positivo para a frequência de desastres naturais sugere que a ocorrência de desastres aumenta a conscientização climática e, assim, as chances de cumprimento das metas.

## 6. Resultados Obtidos

Neste capítulo, são apresentadas três tabelas de regressão que exploram diferentes aspectos da relação entre emissões, crescimento econômico e o cumprimento de metas climáticas pelos países signatários do Protocolo de Kyoto.

A Tabela 1 apresentará os resultados do modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). A Tabela 2 expande essa análise ao incluir variáveis dummy para capturar o efeito de diferentes valores absolutos de desastres naturais sobre o crescimento econômico. Por fim, a Tabela 3 irá utilizar o modelo Logit para estimar a probabilidade de os países alcançarem suas metas climáticas.

**Tabela 1 - Resultado modelo OLS**

<b>Resultados</b>	
	<i>Dependent variable:</i>
	Delta_PIB
Delta_GHG_per_capita	0.690*** (0.135)
JurosReal	-0.001 (0.003)
as.factor(HouveDesastre)1	-0.004 (0.014)
Constant	0.067*** (0.011)
Observations	640
R <sup>2</sup>	0.040
Adjusted R <sup>2</sup>	0.035
F Statistic	26.164***
<i>Note:</i>	* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Os resultados apresentados na tabela indicam uma análise de regressão linear em que a variável dependente é a variação do PIB ("Delta\_PIB") e as variáveis explicativas incluem a variação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) per capita, os juros reais e uma variável indicadora sobre a ocorrência de desastres.

O coeficiente estimado para a variação de emissões de GEE per capita foi de 0.690 com um nível de significância de 1% ( $p < 0.01$ ). Isso indica que, em média, um aumento nas emissões de gases de efeito estufa per capita está associado a um aumento positivo na variação do PIB. O coeficiente positivo sugere que, à medida que os países emitem mais gases de efeito estufa, a variação no PIB tende a ser maior, o que implica uma possível relação entre crescimento econômico e o aumento nas emissões. Essa relação estatisticamente significativa aponta para o fato de que, em curto prazo, as economias que emitem mais GEE podem estar associadas a uma aceleração do PIB, embora isso possa envolver externalidades negativas em termos de sustentabilidade ambiental. Esse resultado reflete uma tensão comum entre o crescimento econômico e as metas de sustentabilidade, indicando que reduzir emissões pode acarretar em um "custo" econômico atrelado à redução de emissões no curto prazo.

Em termos de ajuste do modelo, o  $R^2$  foi estimado em 0.040, sugerindo que as variáveis independentes explicam aproximadamente 4% da variação na variável dependente, o que é um valor relativamente baixo. Isso significa que o modelo não captura uma grande parte da variação do PIB com base nas variáveis incluídas. O  $R^2$  ajustado, que penaliza pela adição de variáveis que não explicam a variação na variável dependente, foi ligeiramente menor, 0.035, reforçando que o modelo, apesar de estatisticamente significativo, explica apenas uma pequena parcela da variação do PIB.

Tabela 2 - Modelo com dummies baseado no número absoluto de desastres

<b>Resultados</b>	
	<i>Dependent variable:</i>
	Delta_PIB
Delta_GHG_per_capita	0.729*** (0.134)
JurosReal	-0.001 (0.003)
as.factor(Desastres)1	0.014 (0.017)
as.factor(Desastres)2	-0.009 (0.020)
as.factor(Desastres)3	-0.005 (0.023)
as.factor(Desastres)4	-0.009 (0.032)
as.factor(Desastres)5	-0.023 (0.040)
as.factor(Desastres)6	-0.272*** (0.059)
as.factor(Desastres)7	0.063 (0.059)
as.factor(Desastres)8	0.019 (0.068)
as.factor(Desastres)9	-0.091 (0.083)
as.factor(Desastres)10	-0.020 (0.083)
as.factor(Desastres)11	0.017 (0.165)
Constant	0.067*** (0.011)
Observations	640
R <sup>2</sup>	0.078
Adjusted R <sup>2</sup>	0.059
F Statistic	52.735***
<i>Note:</i>	* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

O modelo de MQO utiliza as mesmas variáveis explicativas da Tabela 1, incluindo a variação nas emissões de gases de efeito estufa per capita (*Delta\_GHG\_per\_capita*) e juros reais. A principal diferença é o uso de variáveis dummies que representam o número total de desastres naturais ocorridos em determinado país durante o período de um ano. Os desastres utilizados na amostra foram aqueles que podem ser potencializados de alguma forma devido aos efeitos da mudança climática como chuvas torrenciais, secas, temperaturas extremas, inundações e queimadas.

O coeficiente estimado para a variável *Delta\_GHG\_per\_capita* é 0.729, e este resultado é altamente significativo ao nível de 1% ( $p < 0.01$ ), indicado pelos três asteriscos. Este coeficiente positivo sugere que um aumento nas emissões de gases de efeito estufa per capita está associado a um aumento significativo na variação do PIB. Em termos práticos, isso implica que, conforme os países aumentam suas emissões de gases poluentes, o crescimento econômico também aumenta, em média. Essa relação estatisticamente significativa reforça a ideia de que há um trade-off entre crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental no curto prazo. Embora o crescimento do PIB possa ser positivo, o aumento das emissões de gases de efeito estufa levanta preocupações sobre o impacto ambiental desse crescimento.

Por outro lado, o coeficiente para a variável *Juros Reais* é muito próximo de zero, com um valor de -0.001, e não apresenta significância estatística, o que indica que os juros reais não têm uma relação estatisticamente significativa com a variação do PIB neste modelo.

O modelo também inclui várias variáveis dummies representando diferentes números de desastres ocorridos dentro de um país (codificados como "Desastres1", "Desastres2", etc.). A maioria desses coeficientes não é estatisticamente significativa, exceto o coeficiente *Desastres6*, que apresenta um valor de -0.272, significativo ao nível de 1% ( $p < 0.01$ ). Este coeficiente negativo sugere que, durante períodos com seis desastres, a variação do PIB foi menor, indicando que houve um impacto adverso significativo sobre o crescimento econômico. A magnitude deste coeficiente indica que, nos anos em que esse número de desastres ocorreu, o PIB foi reduzido em média em 27,2%, o que pode refletir a gravidade do impacto econômico desses eventos.

Os coeficientes para as outras dummies de desastres, como *Desastres1*, *Desastres2*, *Desastres3*, e outros, apresentam valores próximos de zero e não são estatisticamente significativos, sugerindo que esse número absoluto de desastres não tiveram um impacto claro ou relevante sobre o PIB nos dados analisados.

O termo constante do modelo é 0.067, e este valor é altamente significativo ( $p < 0.01$ ), o que indica que, na ausência de mudanças nas emissões de gases de efeito estufa, nos juros

reais e nos desastres, o PIB ainda teria um crescimento positivo médio de aproximadamente 6,7%.

No que diz respeito às medidas de ajuste do modelo, o  $R^2$  é de 0.078, indicando que apenas 7,8% da variação no PIB é explicada pelas variáveis independentes incluídas no modelo. Nesse contexto, este valor de  $R^2$  relativamente baixo sugere que outras variáveis não incluídas no modelo podem ter um papel mais importante na explicação das variações do PIB. O  $R^2$  ajustado, que penaliza a inclusão de variáveis adicionais que não melhoram significativamente o modelo, é ligeiramente menor, 0.059, indicando que o modelo não ganha muito poder explicativo adicional com a inclusão das variáveis dummies dos desastres.

Por fim, a estatística F é 52.735, com significância ao nível de 1% ( $p < 0.01$ ). Isso indica que, no conjunto, o modelo é estatisticamente significativo, ou seja, existe uma relação conjunta significativa entre as variáveis independentes e a variação do PIB, apesar de algumas variáveis individualmente não serem significativas.

Em resumo, este modelo revela que o crescimento econômico, medido pela variação do PIB, está positivamente relacionado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa per capita, o que pode refletir um custo ambiental para o crescimento econômico. Além disso, um tipo específico de desastre (representado por "Desastres6") tem um impacto adverso significativo no PIB, enquanto os juros reais e os outros tipos de desastres não parecem ter influência significativa sobre o crescimento econômico. As métricas de ajuste sugerem que o modelo explica apenas uma pequena parte da variação no PIB, e outras variáveis podem ser relevantes para uma explicação mais completa.

**Tabela 3 - Modelo logit baseado no alcance de metas dos países**

<b>Resultado Logit</b>	
	<i>Dependent variable:</i>
	AlcancouMetas
TaxaCrescimentoAnualPIB	0.566* (0.295)
JurosMedio	-0.141 (0.339)
AnosComDesastres	0.143* (0.079)
Constant	-3.534* (2.077)
Observations	32
Log Likelihood	-14.689
Akaike Inf. Crit.	37.379
<i>Note:</i>	* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Os resultados da regressão logística estimada para investigar os fatores que influenciam a probabilidade de um país alcançar suas metas climáticas fornecem insights importantes sobre a relação entre variáveis econômicas, desastres naturais e o cumprimento de metas. A amostra da regressão foi baseada nos dados dos países participantes do Protocolo de Kyoto durante o período de 2001 até 2021. Três variáveis foram incluídas no modelo: a Taxa de Crescimento Anual do PIB, os Juros Médios e o número de Anos com Desastres.

Primeiramente, a Taxa de Crescimento Anual do PIB apresentou um coeficiente de 0.566, o que sugere uma relação positiva entre o crescimento econômico e a probabilidade de o país atingir suas metas climáticas. Isso significa que, conforme a taxa de crescimento do PIB aumenta, há um incremento nas chances de o país cumprir as metas. Essa relação é estatisticamente significativa, com um nível de confiança de 90%, sugerindo que o crescimento econômico pode desempenhar um papel importante na capacidade de os países atingirem seus objetivos climáticos. O crescimento econômico pode estar relacionado ao aumento de recursos disponíveis para investir em políticas ambientais e tecnologias sustentáveis, o que contribui para o cumprimento das metas estabelecidas.

Por outro lado, os Juros Médios apresentaram um coeficiente de -0.141, sugerindo uma relação negativa com a probabilidade de alcançar as metas. No entanto, essa relação não foi estatisticamente significativa, o que implica que não podemos afirmar com confiança que os juros médios influenciam diretamente a capacidade de um país de cumprir suas metas climáticas.

O número de Anos com Desastres mostrou-se uma variável relevante, com um coeficiente positivo de 0.143, indicando que quanto mais anos um país vivencia desastres naturais, maiores são as chances de alcançar suas metas climáticas. Este resultado é estatisticamente significativo a um nível de 10%, sugerindo que a ocorrência de desastres pode gerar maior conscientização e ação governamental em relação às mudanças climáticas, o que pode estimular o cumprimento das metas. É possível que os desastres funcionem como gatilhos para a implementação de políticas mais rigorosas e investimentos em infraestrutura resiliente, ou até mesmo como motivadores para a cooperação internacional em questões ambientais. Vale destacar que, ao controlar o efeito do PIB no modelo, esse resultado reflete diretamente a relação entre os desastres e o cumprimento das metas estipuladas pelo Protocolo de Kyoto, sem interferência econômica.

Além das variáveis explicativas, o intercepto ou constante do modelo apresentou um valor negativo de -3.534, o que indica que, na ausência de crescimento econômico, com juros médios neutros e sem desastres, as chances de um país atingir suas metas são extremamente baixas. Esse resultado, que também é estatisticamente significativo, ressalta a importância de fatores exógenos e endógenos para o cumprimento das metas climáticas. Mesmo com a ausência de estímulos econômicos e ambientais, fatores não modelados podem desempenhar um papel relevante, indicando que o contexto específico de cada país é determinante.

Em conclusão, os resultados indicam que o crescimento econômico e a ocorrência de desastres naturais são fatores importantes para explicar o cumprimento de metas climáticas por parte dos países. O crescimento do PIB, ao fornecer recursos adicionais para políticas e tecnologias sustentáveis, tende a aumentar as chances de alcançar as metas. Da mesma forma, os desastres naturais podem servir como catalisadores para a ação climática. Contudo, a relação entre os juros médios não se mostrou significativa, sugerindo que essa ferramenta de política monetária pode não ser um fator direto nesse contexto específico. Essa análise reforça a importância de considerar diferentes dimensões econômicas e ambientais ao estudar o comportamento dos países em relação às metas climáticas.

## 7. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo indicam que há uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o aumento das emissões de GEE per capita e o crescimento econômico dos países analisados. Logo, evidencia-se que sob uma janela de período de curto prazo, há um trade-off entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Este insight reforça a discussão observada na literatura sobre os desafios que os países enfrentam ao tentar conciliar desenvolvimento econômico com a necessidade de reduzir emissões e combater as mudanças climáticas.

Além disso, a análise com o modelo Logit revelou uma relação inesperada sobre a ocorrência de desastres naturais que influenciam positivamente a probabilidade de os países cumprirem suas metas de redução de emissões. Mesmo quando controlado para o efeito do crescimento econômico, a frequência de desastres naturais parece atuar como um catalisador para a ação governamental, aumentando a conscientização pública e a urgência na implementação de medidas mitigadoras.

Os achados desta pesquisa têm implicações importantes para a formulação de políticas públicas. Primeiramente, evidenciam a necessidade de estratégias que permitam o crescimento econômico sem comprometer o meio ambiente, promovendo uma transição para economias de baixo carbono. Ademais, desenvolver melhor as possíveis vias para melhorar a conscientização ao redor das mudanças climáticas, sem ter o custo de desastres naturais impactando no resultado final se torna outro ponto importante de análise.

Portanto, embora o Protocolo de Kyoto tenha representado um marco na governança climática internacional, os desafios para alinhar crescimento econômico e sustentabilidade ambiental persistem. A superação desses obstáculos requer esforços conjuntos, inovação e comprometimento global para assegurar um futuro sustentável para as próximas gerações.

## 8. Referências Bibliográficas:

Kotz, Maximilian; Levermann, Anders; Wenz, Leonie. The economic commitment of climate change. *Nature*, v. 628, n. 8008, p. 551-557, 2024.

Shishlov, Igor; Morel, Romain; Bellassen, Valentin. Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period. *Climate Policy*, v. 16, n. 6, p. 768-782, 2016.

Cléménçon, Raymond. 30 Years of International Climate Negotiations: Are They Still our Best Hope? *Climate Policy*, 2017.

Cooper, Adrian; Livermore, Scott; Rossi, Vanessa, et al. The Economic Implications of Reducing Carbon Emissions: A Cross-Country Quantitative Investigation using the Oxford Global Macroeconomic and Energy Model. *Oxford Economic Papers*, 2019.

Kim, Yoomi; Tanaka, Katsuya; Matsuoka, Shunji. Environmental and economic effectiveness of the Kyoto Protocol. *PLOS ONE*, v. 15, n. 7, p. e0236299, 2020.

Fischer, Carolyn; Morgenstern, Richard D. Carbon Abatement Costs: Why the Wide Range of Estimates? *Journal of Environmental Economics and Management*, 2010.

Newell, Richard G.; Pizer, William A.; Raimi, Daniel. Carbon Markets 15 Years after Kyoto: Lessons Learned, New Challenges. *Annual Review of Resource Economics*, 2015.

Nordhaus, William D.; Bayer, Joseph G. Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol. *Economic Policy*, 2000.

Nordhaus, William D. To Tax or Not to Tax: Alternative Approaches to Slowing Global Warming. *American Economic Review*, v. 96, n. 2, p. 120-125, 2006.

UNITED NATIONS. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. *United Nations Treaty Series*, 1997.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). The Kyoto Protocol Mechanisms - International Emissions Trading, Clean Development Mechanism, Joint Implementation. *United Nations*, 2001.

Yamin, Farhana; Depledge, Joanna. The International Climate Change Regime: A Guide to Rules, Institutions and Procedures. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

OECD. Population (indicator). *Organisation for Economic Co-operation and Development*, 2024.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

United States Environmental Protection Agency (EPA). Greenhouse Gas Emissions: Understanding Global Warming Potentials and CO<sub>2</sub> Equivalents. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions>. Acesso em: 05 nov. 2024.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. Introdução à econometria: uma abordagem moderna. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

## **A. Recomendações para próximas pesquisas**

O objetivo desta monografia foi quantificar o impacto econômico dos esforços dos países para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Com base nos resultados e nas conclusões extraídas dos dados analisados, seguem abaixo recomendações para futuras pesquisas que possam aprofundar e expandir esta análise.

### **A.1 Expansão do Escopo Geográfico**

A inclusão de um número maior de países, especialmente das principais economias emergentes e dos maiores emissores de gases de efeito estufa, como Estados Unidos, China e Índia, pode oferecer uma visão mais completa e precisa ao redor da relação entre a emissão de GEE e o crescimento econômico. Como esses países representam uma grande proporção das emissões, estudos futuros que incluam dados adicionais sobre eles poderão refletir melhor as tendências e os impactos em uma escala mais ampla.

### **A.2 Inclusão de Variáveis Adicionais**

Futuras pesquisas poderiam considerar variáveis adicionais que ajudem a capturar nuances entre o crescimento econômico e as emissões de GEE. Variáveis como investimentos em tecnologias limpas, nível de infraestrutura de energia renovável e políticas de incentivo à sustentabilidade poderiam ser incluídas para observar como fatores internos e externos moldam os resultados ambientais e econômicos dos países. Outros estudos como Kim Y, Tanaka K, Matsuoka S (2020) utilizaram diferentes estratégias para controlar o efeito das emissões sobre o crescimento econômico.

### **A.3 Análise de Longo Prazo e Pós-Kyoto**

Considerando que o Protocolo de Kyoto foi sucedido pelo Acordo de Paris e que novos desafios ambientais e econômicos emergem constantemente, pesquisas futuras poderiam se concentrar em uma análise de longo prazo, incluindo possivelmente a comparação entre os efeitos de diferentes acordos climáticos. Esse enfoque permitiria observar não só os impactos iniciais do Protocolo de Kyoto, mas também como as tendências de emissão e crescimento foram influenciadas por diferentes políticas ambientais que estão em constante evolução.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



Guilherme Martim Beier de Oliveira e Silva

## **Redução de emissões de gases do efeito estufa e crescimento econômico: o efeito do protocolo de Kyoto**

Monografia de Final de Curso

Orientador: Lucas Lima

Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri, para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor

Rio de Janeiro, Novembro de 2024