

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Josimar José Cafina Manuel

**EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>, CONSUMO DE  
COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E CRESCIMENTO  
ECONÓMICO: UMA ABORDAGEM ARDL  
PARA OS PAÍSES DO G20 (1990-2019)**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Economia, especialização em Economia Monetária e Financeira, orientada pelo Professor Doutor José Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas e apresentada à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Junho de 2023

**FACULDADE DE ECONOMIA  
DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA**

**EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>, CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E  
CRESCIMENTO ECONÓMICO: UMA ABORDAGEM ARDL PARA  
OS PAÍSES DO G20 (1990-2019)**

**Josimar José Cafina Manuel**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Economia, especialização em  
Economia Monetária e Financeira, orientada pelo Professor Doutor José  
Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas e apresentada à Faculdade de  
Economia da Universidade de Coimbra

Junho de 2023



**UNIVERSIDADE D  
COIMBRA**

## **Dedicatória**

Aos meus pais, minha esposa e ao meu filho

## **Agradecimento**

A realização desta dissertação de conclusão de mestrado tornou-se uma realidade com a ajuda de diversas individualidades, dentre as quais agradeço de forma sincera pelo apoio prestado, designadamente:

Ao Professor Doutor José Alberto Fuinhas, por todo conhecimento e apoio prestado na realização da presente dissertação, bem como por todo o conhecimento transmitido ao longo do ciclo formativo.

Ao coletivo de professores da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra que por meio dos seus saberes contribuíram para a consolidação dos conhecimentos apreendidos.

Ao coletivo de professores da Faculdade de Economia da Universidade Mandume Ya Ndemufayo pelo apoio e companheirismo académico.

À Dra. Ariana da Silva – Professora da Faculdade de Economia da Universidade Mandume Ya Ndemufayo, pelos conhecimentos e conselhos partilhados ao longo do ciclo formativo.

Ao Dr. Armando Carmona Inocêncio, pelo apoio académico e profissional prestado ao longo do ciclo formativo.

À minha esposa e ao meu filho pela compreensão do afastamento temporal e por todo apoio concedido ao longo do ciclo formativo.

Aos meus pais, familiares e amigos pelo apoio emocional e incentivo prestado em todos os momentos.

## Resumo

Os desafios económicos e sociais da atualidade promovem em larga medida a análise e discussão dos efeitos provocados pelo consumo de combustíveis fósseis, bem como do crescimento económico na deterioração do meio ambiente, reduzindo assim os níveis de continuidade e sustentabilidade da vida humana na Terra e comprometendo a proteção das futuras gerações. Neste prisma, as constantes alterações climáticas verificadas na atmosfera e os problemas provocados pelo aquecimento global, traduzem-se como matérias de extrema importância para as políticas dos governos, sendo as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) uma das causas fundamentais da degradação do meio ambiente. Assim, a presente dissertação procurou investigar a relação entre emissões de CO<sub>2</sub>, combustíveis fósseis e crescimento económico para os países do G20. Por forma a alcançar resultados mais abrangentes, incluímos como variáveis adicionais os investimentos em recursos naturais, globalização e urbanização. Os dados anuais relativos às séries temporais compreendem o período de 1990-2019 em função da existência de dados para as variáveis relacionadas com as emissões de CO<sub>2</sub>, combustíveis fósseis e crescimento económico. A metodologia que nos permitiu relacionar as variáveis foi feita recorrendo à abordagem do modelo Autorregressivo de Desfasamento Distribuído (ARDL), com o objetivo de especificar os determinantes de curto e longo prazo das emissões de CO<sub>2</sub>, não ignorando as quebras estruturais verificadas ao longo do tempo. Os resultados sugerem que existem relações de curto e de longo prazo entre consumo de combustíveis fósseis e emissões de CO<sub>2</sub>, sendo essas relações positivas e estatisticamente significantes. Por outro lado, verificou-se uma relação positiva e estatisticamente significativa no curto prazo entre o produto interno bruto e as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo a mesma relação não significativa no longo prazo. Contudo, a variável urbanização revelou-se estatisticamente não significativa no curto e no longo prazo. Ao passo que as variáveis globalização e investimento em recursos naturais apresentaram-se como sendo significantes no longo prazo ao nível de 5% e 10% respetivamente.

**Palavras-chave:** emissões de CO<sub>2</sub>, crescimento económico, combustíveis fósseis, ARDL, G20.

## **Abstract**

Today's economic and social challenges largely promote the analysis and discussion of the effects caused by the consumption of fossil fuels, as well as economic growth in the deterioration of the environment, thus reducing the levels of continuity and sustainability of human life on Earth and compromising the protection of future generations. In this perspective, the constant climate changes in the atmosphere and the problems caused by global warming are translated as matters of extreme importance for government policies, with CO<sub>2</sub> emissions being one of the fundamental causes of environmental degradation. Thus, this dissertation sought to investigate the relationship between CO<sub>2</sub> emissions, fossil fuels, and economic growth for the G20 countries. In order to achieve more comprehensive results, we include as additional variables investments in natural resources, globalization, and urbanization. The annual time series data cover the period 1990-2019, depending on the existence of data for variables related to CO<sub>2</sub> emissions, fossil fuels, and economic growth. The methodology that allowed us to relate the variables was made using the approach of the *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) model, with the objective of specifying the short and long-term determinants of CO<sub>2</sub> emissions, not ignoring the structural breaks verified over time. The results suggest a short- and long-term relationship between fossil fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions, which is positive and statistically significant. On the other hand, there is a positive and statistically significant relationship in the short term between gross domestic product and CO<sub>2</sub> emissions, and the same relationship is not significant in the long term. However, the variable urbanization proved not to be significant in the short and long term. At the same time, the variables globalization and investment in natural resources were significant in the long term at the level of 5% and 10% respectively.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, fossil fuels, ARDL, G20.

## Lista de siglas, abreviaturas e símbolos

EKC – Curva de Kuznets Ambiental  
CO2 – Emissões de Dióxido de Carbono  
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis  
G20 – Grupo dos 20  
ARDL – Autorregressivo de Desfasamento Distribuído  
PIB – Produto Interno Bruto  
ECT – Termos de Correção de Erros  
ECM – Mecanismo de Correção de Erros  
OLS – Mínimos quadrados Ordinários

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> – Boas e más práticas em resposta à crise energética .....	8
<b>Tabela 2</b> – Variáveis e fonte dos dados .....	9
<b>Tabela 3</b> – Estatísticas descritivas .....	12
<b>Tabela 4</b> – Matriz de correlações.....	12
<b>Tabela 5</b> – Multicolinearidade .....	13
<b>Tabela 6</b> – Breusch and Pagan.....	17
<b>Tabela 7</b> – Teste de hausman, efeitos fixos vs. efeitos aleatórios (sigmamore).....	17
<b>Tabela 8</b> – Driscoll & Kraay (modelo completo) .....	19
<b>Tabela 9</b> – Driscoll & Kraay (modelo parcimonioso) .....	20
<b>Tabela 10</b> – Estimativas (elasticidades e ECM) .....	20
<b>Tabela 11</b> – Driscoll & Kraay (análise de robustez) .....	26
<b>Tabela 12</b> – Maddala & Wu (1999): especificação sem tendência .....	A
<b>Tabela 13</b> – Maddala & Wu (1999): especificação com tendência .....	A
<b>Tabela 14</b> – Pesaran (2007) especificação sem tendência .....	B
<b>Tabela 15</b> – Pesaran (2007) especificação com tendência.....	B
<b>Tabela 16</b> – Regressão com erros padrão Driscoll & Kraay (dummis).....	C
<b>Tabela 17</b> – Grupo dos 20.....	C

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> – Mudanças nas emissões de CO2 .....	22
<b>Figura 2</b> – Urbanização em log .....	D
<b>Figura 3</b> – Globalização em log.....	D
<b>Figura 4</b> – Consumo de Combustíveis Fósseis em log.....	D
<b>Figura 5</b> – Emissões de CO2 em log .....	E
<b>Figura 6</b> – Produto Interno Bruto em log .....	E
<b>Figura 7</b> – Investimento em Recursos Naturais em log.....	E
<b>Figura 8</b> – Resíduo .....	F
<b>Figura 9</b> – Box Plot (resíduos) .....	F

## Índice

Capítulo 1. Introdução .....	1
Capítulo 2. Revisão da Literatura .....	3
2.1. Relação entre emissões de CO <sub>2</sub> , crescimento económico e combustíveis fósseis .....	3
2.2. Estudos empíricos .....	5
2.3. Breve panorama da reação global à crise energética .....	7
2.4. Lacuna da literatura .....	8
Capítulo 3. Modelo Empírico .....	9
3.1. Dados e Metodologia .....	9
3.1.1. Dados .....	9
3.1.2. Modelo econométrico .....	10
3.2. Resultados preliminares .....	11
3.2.1. Estatísticas descritivas .....	11
3.2.2. Matriz de correlações e multicolinearidade .....	12
3.2.3. Testes de raízes unitárias .....	13
3.2.4. Procedimento de estimativa do modelo .....	14
3.3. Resultados e Discussão .....	18
Capítulo 4. Conclusão .....	27
Referências Bibliográficas .....	30
Apêndice	



## Capítulo 1. Introdução

A ação climática relacionada com a proteção ambiental e minimização dos efeitos estufas são preocupações globais e estão enquadradas nos objetivos de desenvolvimento sustentáveis das nações, e tem vindo a motivar a adoção de políticas que visam amenizar os efeitos da utilização de poluentes no processo de produção, evitando deste modo uma maior deterioração do meio ambiente. Não obstante aos desafios dos governos em minimizar os efeitos nocivos sobre o meio ambiente, a análise dos efeitos provocados pelo consumo de combustíveis fósseis e crescimento económico possuem uma relevância particular no mundo académico e científico. Segundo Dinda (2004), o marco de referência para os estudos desenvolvidos neste domínio parte do princípio que a qualidade ambiental se degrada na fase inicial do crescimento económico e tende a melhorar à medida que uma determinada economia atinge níveis de desenvolvimento consideráveis, ou seja, a pressão ambiental aumenta mais do que proporcional ao rendimento na fase inicial e desacelera em relação ao crescimento elevado do rendimento. Esse pressuposto que visa relacionar o rendimento e qualidade ambiental é designado por Curva de Kuznets Ambiental (EKC), cuja relação em forma de U invertido decorre do trabalho desenvolvido por Kuznets em 1955.

Por outro lado, as decisões relacionadas a produção de bens e serviços pelas economias ao longo das cadeias produtivas são fortemente afetadas pelas ofertas energéticas, ou seja, o processo produtivo é amplamente dependente do consumo de energia. Ora, na perspetiva de Ahmad & Du (2017), não seria de todo errado chamar a energia como a vida da economia. Dai decorre, que a produção de energia a partir do petróleo e do carvão, incluindo nisso o consumo de gás natural são condutores por excelência das emissões de dióxido carbono, cuja incidência tem vindo a aumentar de forma global.

No entanto, tal como assegura Mikayilov *et al.* (2018) e Lin & Xu (2020), as quantidades crescentes de emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes das ações humanas, como da queima de combustíveis fósseis, absorvem calor e causam o aquecimento global, provocando mudanças no meio ambiente. Assim, a problemática das alterações climáticas, acentua-se como uma das principais inquietações na formulação de políticas dos governos, dado que os seus efeitos são prejudiciais ao bem-estar socioeconómico, bem como na preservação e sustentabilidade da vida humana. De acordo com os objetivos

de desenvolvimento sustentável (ODS 13), os países devem tomar medidas que visam acabar com as mudanças climáticas, incluindo nisso a consolidação da resiliência e da capacidade de adaptação aos riscos inerentes ao clima, políticas que revigoram as estratégias dos governos e melhoria dos sistemas de educação e conscientização.

Apesar das exigências de minimização das emissões de CO<sub>2</sub> serem genéricas a todos os países, os países desenvolvidos (G20), jogam um papel fundamental neste processo, dado que são os maiores emissores CO<sub>2</sub>, ressaltando assim, a importância da compreensão da relação entre emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de combustíveis fósseis e crescimento económico. Nesta perspectiva, pelo fato de serem países industrializados, estima-se que o consumo de combustíveis fósseis assume proporções consideráveis, o que permite uma análise mais abrangente dos compromissos relacionados ao clima.

O presente trabalho procurou analisar a relação entre emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de combustíveis fósseis e crescimento económico nos países do G20, através da estimação de um modelo ARDL. Por outro lado, o trabalho de investigação visou responder a seguinte questão de investigação: Qual é a relação entre CO<sub>2</sub>, combustíveis fósseis e crescimento económico? Por forma a dar seguimento a questão de investigação formulou-se duas hipóteses que serão testadas por via da aplicação de um modelo econométrico, designadamente:  $H_0: \beta_i = 0$  (para qualquer  $i$ ), o que implica que não existe nenhuma relação entre emissões CO<sub>2</sub>, combustíveis fósseis e crescimento económico. A hipótese alternativa é que  $H_1: \beta_i > 0$  ( $i=1,2,\dots,k$ ), o que indica que existe uma relação positiva entre emissões CO<sub>2</sub>, combustíveis fósseis e crescimento económico.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma. A primeira seção diz respeito às teorias relevantes sobre o tema em causa. A segunda seção estabelece o modelo, dados, metodologia estimada e os resultados. Finalmente a terceira seção apresenta as conclusões.

## Capítulo 2. Revisão da Literatura

Este capítulo propõe-se descrever e analisar os diferentes estudos relacionados com as emissões de dióxido de carbono, consumo de combustíveis fósseis, consumo de energia e crescimento económico, incluindo nisto a visão global sobre a reação dos países à crise energética oriunda da Guerra na Ucrânia.

### 2.1. Relação entre emissões de CO<sub>2</sub>, crescimento económico e combustíveis fósseis

De acordo com Lotfalipour *et al.* (2010) e Rehman *et al.* (2022), na última década, o nível de aquecimento global tem vindo a aumentar de forma considerável. Decorrendo daí que muitos cientistas consideram que os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> como gás de efeito estufa, aumentam o aquecimento global e provocam instabilidade climática numa perspetiva de curto e de longo prazo. Assim, estima-se que do total do consumo global de energia em 2019, 80% correspondem a utilização de combustíveis fósseis, designadamente provenientes do carvão, petróleo e gás, sendo essas consideradas como as principais fontes do aquecimento global.

Os estudos empíricos que analisam a relação causal entre crescimento económico, consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> possuem uma certa magnitude e amplitude literária nos últimos tempos. Na perspetiva de Sadorsky (2009) e Apergis & Payne (2012), a ideia central em torno desses estudos consiste no fato de que consumo de energia é fundamental no processo de crescimento económico dos países, e as estratégias em torno da utilização de fontes renováveis poderão reduzir os processos de emissões de CO<sub>2</sub> a nível global. Ainda segundo os autores citados, alguns fatores como capital, trabalho e utilização de energia limpas não podem ser vistos como fatores exclusivos da determinação do crescimento económico.

Por outro lado, tornar-se importante compreender que as emissões de CO<sub>2</sub> desempenham um papel importante na compreensão do processo de formulação de políticas que visam proteger o meio ambiente, bem como na materialização dos objetivos de desenvolvimento sustentáveis ratificados pelos governos do mundo. Assim, o estudo desenvolvido por Bacon & Bhattacharya (2007), considera que as emissões de CO<sub>2</sub> é responsável por 58,8% do total das emissões do efeito estufa na atmosfera. E uma parte considerável das emissões de CO<sub>2</sub> é atribuída ao crescimento económico dos países. Ainda segundo os autores, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> por meio do crescimento

económico particularmente nos países em desenvolvimento, pode não alcançar os efeitos esperados, dada a verificação de uma relação direta entre consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> nesses países. Implicando que, quanto maior for o consumo de energia maior tenderá a ser os níveis de crescimento económico.

De acordo com Coondoo & Dinda (2008) e Lotfalipour *et al.* (2010), estima-se que o rendimento provoca mudanças ambientais e não vice-versa. Porém, a natureza e a direção da relação de causalidade entre rendimento e emissões de CO<sub>2</sub>, podem ser analisadas tendo por base duas relações particularmente importantes. A primeira enfatiza que o rendimento é a causa das emissões de CO<sub>2</sub> e pode ser vista como a curva para as emissões de CO<sub>2</sub>. A segunda relação considera a emissão de CO<sub>2</sub> como causa e o rendimento como efeito. Assim, essa relação pode ser considerada como uma relação de produção, tal que a emissão de CO<sub>2</sub> é um fator fundamental na geração do rendimento.

Todavia, ainda de acordo com a perceção de Lotfalipour *et al.* (2010), a pesquisa sobre crescimento económico, consumo de energia e poluentes ambientais podem ser analisadas considerando três níveis de abordagem diferenciadas. A primeira vertente cinge-se na análise dos poluentes ambientais e nonexo de saída. Esses estudos analisam especialmente a EKC, cujo formato é representado na forma de U invertido e implica que, a partir de baixos níveis de rendimento per capita, a degradação ambiental aumenta, mas atingido um certo nível de rendimento, ela diminui.

A segunda perspectiva de pesquisa está intrinsecamente relacionada com o consumo de energia e o crescimento económico. Essa relação sugere que o crescimento económico e consumo de energia podem ser determinados em conjunto e a direção da relação de causalidade pode não ser determinada de forma *a priori*.

A terceira vertente assume uma natureza mais agregada e procura combinar as duas perspectivas anteriores, o que por sua vez permite aos investigadores provarem a validade dos dois eixos no mesmo quadro de análise. Assim, essa abordagem facilita a análise da relação dinâmica entre crescimento económico, consumo de energia e poluentes ambientais.

## 2.2. Estudos empíricos

O estudo desenvolvido por Ang (2007), sustenta o argumento que o crescimento económico exerce uma influência causal no aumento do consumo de energia e no crescimento da poluição no longo prazo. Os resultados também enfatizam a existência de uma causalidade bidirecional que vai desde o aumento da utilização de energia até ao crescimento dos níveis de produção no curto prazo. Por outro lado, Ang (2008), através da análise de cointegração examinou a relação de longo prazo entre produção, emissões de poluentes e consumo de energia na Malásia durante o período 1971–1999, tendo concluindo que a poluição e o uso de energia estão positivamente relacionados com a produção no longo prazo. Foi também possível encontrar uma forte relação de causalidade que vai do crescimento económico ao aumento do consumo de energia tanto numa perspetiva de curto como no longo prazo.

Ainda de acordo com a perspetiva de Ang (2008), o processo de desenvolvimento económico está intrinsecamente relacionado com o consumo de energia, uma vez que o aumento do consumo de energia implica um maior nível de crescimento económico. Todavia, é mais provável que uma utilização eficiente de energia exija um alto nível de crescimento económico. Decorrendo daí, que o consumo de energia e o crescimento económico podem ser determinados de forma conjunta.

Os resultados da investigação desenvolvida por Soytaş & Sari (2009), sugerem que existe uma relação de causalidade à Granger de longo prazo entre crescimento económico, emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia na Turquia. Por outro lado, os autores também fornecem evidências que as emissões de carbono aparecem como uma das causas do consumo de energia, porém, o inverso não é verdade. Nota-se que na perspetiva dos autores, a falta de umnexo de causalidade de longo prazo entre rendimento e emissões pode implicitamente induzir que, para reduzir as emissões de carbono, a Turquia não precisa renunciar o crescimento económico.

Por sua vez a pesquisa conduzida por Halicioğlu (2009), baseada na análise das relações causais dinâmicas entre emissões de carbono, consumo de energia, rendimento e comércio exterior na Turquia usando séries temporais para o período 1960-2005, sugere que existem duas formas de relacionamento de longo prazo entre as variáveis analisadas. No primeiro caso, as emissões de carbono são determinadas pelo consumo de energia, rendimento e comércio exterior. No segundo caso, o rendimento é determinado pelas

emissões de carbono, consumo de energia e comércio exterior. Os resultados encontrados enfatizam que, o rendimento é a variável mais significativa para explicar as emissões de carbono na Turquia, seguida pelo consumo de energia e comércio exterior. Além disso, existe uma função estável de emissões de carbono verificada ao longo do tempo.

Zhang & Cheng (2009), por meio de um modelo multivariado de crescimento econômico, uso de energia, emissões de carbono, capital e população urbana, analisaram a relação de causalidade à Granger entre crescimento econômico, consumo de energia e emissões de carbono na China. Os resultados empíricos sugerem uma causalidade unidirecional à Granger que vai do PIB ao consumo de energia, e uma causalidade unidirecional à Granger que vai do consumo de energia às emissões de carbono no longo prazo. As evidências mostram que nem as emissões de carbono nem o consumo de energia lideram o crescimento econômico. Portanto, o governo da China pode buscar uma política energética conservadora e uma política de redução de emissões de carbono a longo prazo sem impedir o crescimento econômico.

Por outro lado, Ghosh (2010), investigou a cointegração e causalidade entre as emissões de carbono e o crescimento econômico para a Índia usando a abordagem de teste de limites ARDL complementada pelo procedimento de máxima verossimilhança em uma estrutura multivariada, incorporando o fornecimento de energia, o investimento e o emprego para o período 1971-2006. O resultado do estudo não permitiu estabelecer uma relação de equilíbrio de longo prazo e causalidade de longo prazo entre as emissões de carbono e o crescimento econômico. No entanto, existe uma causalidade bidirecional de curto prazo entre as duas variáveis analisadas. Assim, no curto prazo, qualquer esforço para reduzir as emissões de carbono poderia levar a uma queda no rendimento nacional. Este estudo também procurou estabelecer uma causalidade unidirecional de curto prazo que vai do crescimento econômico ao fornecimento de energia e do fornecimento de energia às emissões de carbono. A ausência de causalidade que vai do fornecimento de energia ao crescimento econômico implica que, na Índia, medidas de conservação de energia e eficiência energética podem ser implementadas para minimizar o desperdício de energia em toda a cadeia de valor. Tais medidas reduziriam a lacuna entre a procura e a oferta de energia. Contudo, a ausência da verificação de uma causalidade de longo prazo entre as emissões de carbono e o crescimento econômico implica que, a longo prazo, o foco deve ser dado no aproveitamento da energia de fontes limpas para reduzir as emissões de carbono, o que não afetaria o crescimento econômico do país.

Ahmad & Du (2017), investigaram a relação entre a produção de energia, as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento económico do Irão, introduzindo como variáveis suplementares, o investimento interno e estrangeiro, inflação, densidade populacional e terras agrícolas. Os resultados do estudo apontam que existe uma relação de longo prazo entre as variáveis. Outrossim, foi possível verificar que existe uma relação positiva entre as emissões de CO<sub>2</sub> e crescimento económico. Por outro lado, a produção de energia tem um efeito positivo no crescimento económico. E a velocidade de ajuste mostra que o sistema tende a movimentar-se para o caminho de equilíbrio e os testes de diagnósticos confirmam a adequação do modelo utilizado para estabelecer a relação pretendida.

Por sua vez Lise (2006), através da utilização de uma análise de decomposição aplicado na Turquia durante o período de 1980-2003, demonstrou que nas economias de crescimento relativamente rápido, o maior contribuinte para aumento das emissões de CO<sub>2</sub> é a expansão da atividade económica (efeito de escala). Por outro lado, a intensidade da produção de carbono e a mudança na decomposição da economia, tendem constantemente a movimentar-se de forma conjunta, e por sua vez contribuem para o aumento das emissões do CO<sub>2</sub>, embora a um ritmo mais lento. Assim, a intensidade energética da economia, que está a diminuir, é responsável por uma redução modesta das emissões de CO<sub>2</sub>.

Em termos globais a literatura existente sobre emissões de CO<sub>2</sub>, crescimento económico e consumo de energia sugere que na maioria dos casos, os estudos desenvolvidos nesse domínio centram-se na análise da relação entre crescimento económico e consumo de energia, ou crescimento económico e emissões de CO<sub>2</sub>, evitando-se muitas vezes um teste conjunto das duas relações. Contudo, verifica-se a utilização de inúmeras técnicas ou procedimentos econométricos para analisar a relação entre crescimento económico, consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub>. Os resultados, bem como a viabilidade dos estudos obedecem profundamente o comportamento das variáveis analisadas, da existência dos dados e das características específicas dos países analisados. Porém, os estudos revelam alguma divergência nas conclusões apresentadas.

### **2.3. Breve panorama da reação global à crise energética**

Os últimos acontecimentos provocados por reações políticas como a invasão da Rússia a Ucrânia, tem gerado o ressurgir de uma nova crise energética a escala global. De igual modo, esses fatos comprometem os objetivos para manter o limite da temperatura

em 1,5°C. Assim, de acordo com os dados da *Climate Action Tracker* (2022), os governos falham em aproveitar as chances de reorganizar seus suprimentos de energia longe dos combustíveis fósseis. Em vez disso, verificasse uma tendência global para a produção de novos gases fósseis, oleodutos e instalações de gás natural liquefeito. Isso por sua vez, aumenta as possibilidades de um alto nível de carbono e compromete o processo de manter o limite de 1.5°C preconizado no acordo de Paris.

**Tabela 1** – Boas e más práticas em resposta à crise energética

<b>Descrição</b>	<b>Não fazer</b>	<b>Fazer</b>
<b>Infraestruturas de gás fóssil</b>	Expandir as infraestruturas de gás fóssil Expandir ou apoiar as infraestruturas de exportação de gás fóssil	Expansão das infraestruturas alternativas aos combustíveis fósseis
<b>Fornecimento de combustíveis fósseis</b>	Expandir a produção doméstica	Desincentivar a produção doméstica
<b>Energias renovais e descarbonização</b>	Planos de relaxamento para reduzir as emissões (incluindo imposto sobre o carbono, eliminação gradual do carvão, padrões mais altos para as indústrias)	Aumentar a implantação de renováveis Aumentar a produção de hidrogénio verde Reinvestir os lucros inesperados das receitas de energias de combustíveis fósseis em energias renováveis

**Fonte:** Climate Action Tracker

## 2.4. Lacuna da literatura

O presente trabalho é particularmente relevante, na medida em que procura analisar as maiores economias do mundo de forma agregada (G20). Por outro lado, poucos estudos se preocupam em examinar a relação entre crescimento económico, emissões de CO<sub>2</sub> e combustíveis fósseis para os países desenvolvidos de forma conjunta, ou seja, para uma amostra relativamente grande de países. Assim, concedeu-se relevância a análise conjunta, apesar de muitas vezes está não capturar de forma precisa as especificidades da realidade de cada país. Porém, nos permite ter uma visão mais ampla de como as variáveis estão implicitamente relacionadas, bem como a sua abrangência no processo de condução de políticas conjuntas que visam diminuir os problemas ambientais. Contudo, dos estudos analisados, nenhum inclui a variável investimento em recursos naturais, globalização e consumo de petróleo, consumo de carvão e gás natural medido em exajoules como proxy do consumo de combustíveis fósseis, para testar a relação entre emissões de CO<sub>2</sub>, crescimento económico e consumo de combustíveis fósseis quer de forma individual como de forma agregada.



## Capítulo 3. Modelo Empírico

Este capítulo visa descrever os dados, metodologia, apresentação dos resultados, bem como a discussão dos mesmos, através da estimação de um modelo ARDL, com o objetivo de examinar a relação de curto e longo prazo entre emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de combustíveis fósseis e crescimento económico nos países do G20.

### 3.1. Dados e Metodologia

Esta seção apresenta e analisa as variáveis utilizadas na dissertação, suas unidades de medidas, a proveniência dos dados, bem como a metodologia utilizada.

#### 3.1.1. Dados

A dissertação utiliza dados anuais do produto interno bruto (PIB) medido a preços constantes de 2015; emissões de dióxido de carbono provenientes da energia, emissões de processos, metano e queima em milhões de toneladas equivalentes; consumo de petróleo; consumo de carvão e gás natural medido em exajoules; urbanização em percentagem da população total; globalização na forma de índice e investimentos em recursos naturais em percentagem do PIB. As variáveis consumo de petróleo, consumo de carvão e gás natural medido em exajoules foram utilizadas como proxy do consumo de combustíveis fósseis, uma vez que os dados sobre o consumo de combustíveis fósseis não estavam disponíveis, daí resulta que na presente dissertação, o consumo de combustíveis fósseis resulta do somatório do consumo de petróleo, consumo de carvão e gás natural medido em exajoules. Os dados anuais das séries temporais correspondem ao período de 1990-2019, em função da disponibilidade de dados para todos os países da amostra.

**Tabela 2** – Variáveis e fonte dos dados

<b>Acrónimo</b>	<b>Variável</b>	<b>Fonte</b>
<b>Co2</b>	Dióxido de carbono	BP Global
<b>Gdp</b>	Produto Interno Bruto	UN National Accounts Main Aggregates Database
<b>Urb</b>	Urbanização	World Bank - DataBank World Development Indicators
<b>Pop</b>	População	UN National Accounts Main Aggregates Database
<b>Glo</b>	Globalização	KOF Swiss Economic Institute
<b>Oil</b>	Consumo de Petróleo	BP Global
<b>Cgn</b>	Consumo de Gás Natural	BP Global
<b>Ccv</b>	Consumo de Carvão	BP Global
<b>Nrr</b>	Investimento em Recursos Naturais	World Bank - DataBank World Development Indicators

Fonte: elaboração própria

Por outro lado, torna-se importante aclarar que as séries de dados para as economias pertencentes ao G20 na presente dissertação possuem 29 anos de observações,

perfazendo assim 551 observações no total, o que se considera admissível, dada a disponibilidade de dados para todos os países da amostra. Os dados apresentam valores atípicos (*outliers*) e quebras estruturais em função da realidade de cada país, bem como dos diferentes choques que são comuns as economias mundiais.

Assim, tal como assegura Fuinhas & Marques (2012), umas das técnicas adequadas para lidar com alguns problemas enfrentados pelos dados consiste na aplicação de um modelo ARDL. Esta técnica por sua vez permite que os dados sejam tratados com alguma flexibilidade, permitindo-lhes superar as anomalias das metodologias subjacentes. Por outro lado, a aplicação do modelo ARDL mostra-se bastante robusto para amostras finitas, mesmo existindo choques e mudanças de regime. Do ponto de vista prático é possível introduzir variáveis fictícias valoradas em “um e zero” para controlar os diferentes fenómenos que afetam os dados.

Todavia, na conformação dos dados para os países do G20, foi excluída a União Europeia, para evitar duplicidade e extrapolação de análises, dado que países como Alemanha, França e Itália que aparecem na amostra de forma individual também integram os dados da União Europeia, o que ao meu ver poderia comprometer o processo de análise e os resultados apresentados. Por outro lado, os dados de forma global para a União Europeia não estão disponíveis nas plataformas convencionais, o que levaria a um maior exercício de tempo e ferramentas de consolidação ou transformação para se obter os dados correspondente a União Europeia durante o período de análise.

### **3.1.2. Modelo econométrico**

Na presente dissertação a variável emissões de dióxido de carbono foi tida como variável dependente e a variável produto interno bruto e consumo de combustíveis fósseis como principais variáveis explicativas. Por outro lado, as variáveis urbanização, globalização e investimento em recursos naturais, foram utilizadas como variáveis independentes complementares para efeitos de análises adicionais. Os dados foram transformados em logaritmos naturais, pois tal como assegura Ahmad & Du (2017), proporcionam resultados mais eficientes e, portanto, consistentes. As variáveis emissões de dióxido de carbono, produto interno bruto e consumo de combustíveis fósseis por estarem expressas em quantidades foram transformadas em per capita, ao passo que as demais permanecem na configuração original.

De acordo com Fuinhas & Marques (2012), o modelo ARDL não impõe um pressuposto restritivo que todas as variáveis devem ter a mesma ordem de integração, o que é muito útil quando a integração das variáveis é limítrofe I(0)/I(1). Neste espírito, por forma a garantir a estacionariedade das variáveis produto interno bruto, consumo de combustíveis fósseis, emissões de dióxido de carbono e investimento em recursos naturais utilizamos as primeiras diferenças logarítmicas, enquanto as variáveis urbanização e globalização serão unicamente convertidas na forma logarítmica, por forma a suavizar o seu comportamento, visto que são integradas de ordem zero I(0) em função dos teste de raízes unitárias.

O modelo económico pode ser apresentado na seguinte forma (Eq. 1):

$$CO2 = f(Gdp, Cbf, Nrr, Urb, Glo) \quad (Eq.1)$$

A fórmula funcional do modelo pode ser especificada na seguinte forma (Eq. 2):

$$DLCO2_{it} = \beta_0 + \beta_{Gdp}DLGdp_{it} + \beta_{Cbf}DLCbf_{it} + \beta_{Nrr}DLNrr_{it} + \beta_{Urb}LUrb_{it} + \beta_{Glo}LGlo_{it} + \mu_{it} \quad (Eq.2)$$

Onde CO2 representa as emissões de dióxido de carbono per capita provenientes da energia, emissões de processos, metano e queima (em milhões de toneladas equivalentes), Gdp é o produto interno bruto per capita (a preços constante de 2015 US\$), Cbf diz respeito ao consumo de combustíveis fósseis per capita (exajoules), Nrr é o investimento em recursos naturais (em % do PIB), Urb representa a urbanização (em % da população total), Glo é a globalização (medidos em termos de índice) e  $\mu$  diz respeito ao termo de erro ou perturbação (ruído branco).  $\beta_0$  é a constante, DL são as diferenças logarítmicas, L são os logaritmos naturais ao passo que  $\beta_{Gdp}$ ,  $\beta_{Cbf}$ ,  $\beta_{Nrr}$ ,  $\beta_{Urb}$  e  $\beta_{Glo}$  representam os coeficientes de inclinação do produto interno bruto, consumo de combustíveis fósseis, investimento em recursos naturais, urbanização e globalização.

## 3.2. Resultados preliminares

Esta seção apresenta os resultados encontrados, designadamente estatísticas descritivas, matriz de correlações, multicolinearidade e os testes de raízes unitárias.

### 3.2.1. Estatísticas descritivas

A tabela 2 reporta as estatísticas descritas das variáveis de estudo, nomeadamente o número de observações, média, desvio-padrão e valores máximos e mínimos. A média

mais alta observada corresponde ao produto interno bruto per capita, ao passo que a média mais baixa observada diz respeito ao consumo de combustíveis fósseis per capita.

**Tabela 3-** Estatísticas descritivas

Variável	Obs.	Média	Desv. Pad.	Min.	Max.
<b>CO2pc</b>	570	9.20e-06	6.13e-06	7.76e-07	.0000225
<b>Gdpc</b>	570	21236.09	16233.09	538.3404	60551.7
<b>Cbfpc</b>	570	1.24e-07	8.53e-08	8.60e-09	3.44e-07
<b>Urb</b>	570	71.3392	16.32329	25.547	91.991
<b>Glo</b>	570	68.10298	12.55596	31.76811	89.43017
<b>Nrr</b>	570	4.535739	8.669415	.0106793	55.47506

Fonte: elaboração própria

### 3.2.2. Matriz de correlações e multicolinearidade

A tabela 3 apresenta os resultados referente a matriz de correlações das variáveis. Com base na tabela pode-se observar que o consumo de combustíveis fósseis tem uma correlação forte e positiva com emissões de CO<sub>2</sub>, implicando que um aumento no consumo de combustíveis fósseis provocaria um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>. O produto interno bruto também apresenta uma correlação forte e positiva com as emissões de CO<sub>2</sub>, implicando que as duas variáveis variam no mesmo sentido. Por outro lado, o investimento em recursos naturais também possui uma relação positiva com emissões de CO<sub>2</sub> apesar dessa relação ser fraca, conduzindo intuitivamente que pretensões de exploração de recursos naturais poderá contribuir para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. Finalmente, podemos observar que existe uma relação negativa e moderada entre urbanização, globalização e emissões de CO<sub>2</sub>. Esta relação negativa poderá sustentar a ideia de que quanto mais globalizado e urbanizado for um país maior as preocupações relacionadas com a ação climática e menor tenderá a ser as emissões de CO<sub>2</sub>. Incluindo nisso o fato de países urbanizados e globalizados experimentam níveis de crescimento e desenvolvimento elevado, no caso concreto os países da amostra.

**Tabela 4 -** Matriz de correlações

	DLCO2pc	DLCbfp	DLGdpc	DLNrr	LUrb	LGlo
<b>DLCO2pc</b>	1.0000					
<b>DLCbfp</b>	0.9576	1.0000				
<b>DLGdpc</b>	0.6125	0.5941	1.0000			
<b>DLNrr</b>	0.0432	0.0312	0.0177	1.00+00		
<b>LUrb</b>	-0.3140	-0.2973	-0.3528	0.0440	1.0000	
<b>LGlo</b>	-0.3269	-0.3281	-0.1828	0.0853	0.5969	1.0000

Fonte: elaboração própria

A tabela 4 apresenta os dados relacionados com a multicolinearidade. Com base nos dados podemos verificar que as variáveis consumo de combustíveis fósseis, produto interno bruto, investimento em recursos naturais, urbanização e globalização não exibem multicolinearidade, o que pressupõe que as variáveis independentes não possuem relações lineares exatas ou sensivelmente exatas. Na presente dissertação, seguimos a regra de corte individual da variável cifrada em 10 e a média de todas as variáveis em 6 na observação dos VIF.

**Tabela 5 - Multicolinearidade**

Variável	VIF	1/VIF
<b>LUrb</b>	1.72	0.582566
<b>DLCbfpc</b>	1.68	0.593665
<b>DLGdpc</b>	1.68	0.594091
<b>LGlo</b>	1.67	0.597577
<b>DLNrr</b>	1.01	0.988802
<b>Média VIF</b>	1.55	

Fonte: elaboração própria

### 3.2.3. Testes de raízes unitárias

A literatura económica fornece inúmeros testes para testar as propriedades de estacionariedade das séries temporais, com incidência nos teste ADF de Dickey & Fuller, P-P de Philips e Perron, KPSS de Kwiatkowski *et al.* e Ng-Perron de Ng e Perron. De acordo com Shahbaz *et al.* (2013), esses testes fornecem resultados tendenciosos e espúrios devido a falta de informações sobre os pontos de rutura estrutural ocorridos na série e as limitações para testar múltiplas variáveis e desfasamentos. Assim, na presente dissertação utilizamos os testes de raízes unitárias de Maddala & Wu (1999), bem como o teste de painel de segunda geração de Pesaran (2007) que é robusto à presença de dependência seccional.

O teste desenvolvido por Maddala & Wu (1999), considera a heterogeneidade no coeficiente autorregressivo da regressão de Dickey-Fuller e põe de lado a dependência transversal (seccional) nos dados. Por sua vez, os testes de Pesaran (2007), observam a heterogeneidade no coeficiente autorregressivo da regressão de Dickey-Fuller e permite a presença de um único fator não observável nos dados. Neste caso, a estatística é construída com base nos resultados da regressão ADF.

A hipótese nula que nos permitiu analisar a estacionaridade ou a presença de raízes unitárias é que  $H_0: \beta_i = 0$  (para qualquer  $i$ ), o que implica que a série é não estacionária com a aplicação das primeiras diferenças. A hipótese alternativa é que  $H_1: \beta_i < 0$  ( $i=1,2,\dots,N_1, \beta_i = 0, i = N_1 + 1, N_1+2,\dots,N$ ), o que indica que a variável é estacionária com a aplicação das primeiras diferenças, logo não possui raízes unitárias.

Assim, as variáveis emissões de CO<sub>2</sub>, produto interno bruto, consumo de combustíveis fósseis e investimento em recursos naturais são não estacionárias em níveis, pelo que, foi necessário à sua transformação em primeiras diferenças logarítmicas, tornando-se as mesmas estacionárias, o que implica que são integradas de  $I(1)$ . Por outro lado, as variáveis urbanização e globalização, tendem a ser estacionárias em níveis quando aplicamos o teste de raízes unitárias de Maddala & Wu (1999) e o teste de painel de segunda geração de Pesaran (2007). Este resultado pressupõe que as variáveis são integradas de ordem  $I(0)$ , conforme tabelas em anexo.

#### **3.2.4. Procedimento de estimativa do modelo**

No presente trabalho adotou-se a técnica referente ao modelo Autorregressivo de Desfasamento Distribuído, normalmente designado por modelo ARDL definido por Pesaran *et al.* (2001). De acordo com Ahmad & Du (2017), a utilização da técnica ARDL tende a ser mais vantajosa que a utilização das técnicas de Engle e Granger e os testes de cointegração de Johansen. Assim, os testes de Engle e Granger são usados para duas variáveis e os testes de Johansen é utilizado para mais de duas variáveis, ou seja, esses testes ampliam o modelo VAR. Daí decorre, que o teste de Johansen, é um teste bastante útil quando se trata de uma amostra consideravelmente grande e as variáveis possuem a mesma ordem de cointegração, ou seja,  $I(1)$ . Na perspectiva de Pesaran *et al.* (2001), a técnica ARDL tem vantagem sobre os modelos acima referidos, sendo mais pragmático que os testes de cointegração de Johansen para amostras pequenas. Por outro lado, facilmente utilizado quando as variáveis se arrogam como essencialmente  $I(0)$ , exclusivamente  $I(1)$  ou a combinação de ambos os casos  $I(0)$  e  $I(1)$ . Igualmente, a utilização de um modelo ARDL utiliza um número ideal de desfasamento em relação ao tempo. Finalmente, o mecanismo de correção de erros pode ser obtidos com base na realização de testes conjuntos por meio de processos de transformação de um modelo de regressão linear simples (OLS).

Todavia, ainda segundo Ahmad & Du (2017), o mecanismo de correção de erros (ECM) mostra o processo de ajuste de curto ao longo prazo sem, no entanto, se verificar a perda de informações no longo prazo e quando os regressores forem endógenos, a abordagem ARDL fornece estimativas imparciais a longo prazo.

De acordo com Ouattara (2004), os testes ARDL não devem ser aplicados se qualquer das variáveis utilizadas no processo de estudo forem estacionárias com aplicação das segundas diferenças, ou seja, cointegradas de ordem I(2), na medida em que a aplicação da abordagem ARDL está intimamente ligada ao fato das variáveis serem estacionárias com aplicação das primeiras diferenças I(1), ou integradas de ordem I(0), ou ainda a combinação das duas, ou seja, I(0) e I(1).

A relação matemática do modelo pode ser especificada do seguinte modo (Eq. 3):

$$DLCO2_{it} = \beta_{0i} + \beta_{Gdp}DLGdp_{it} + \beta_{Cbf}DLCbf_{it} + \beta_{Nrr}DLNrr_{it} + \beta_{Urb}LUrb_{it} + \beta_{Glo}LGlo_{it} + \mu_{it} \quad (Eq.3)$$

Onde  $\beta_{0i}$  e  $\beta_k$ , com  $k=1, \dots, 5$ , significam os interceos e os parâmetros estimados do modelo, DL são as diferenças logarítmicas, L são os logaritmos naturais e  $\mu_{it}$  é o termo de erro que assumem a natureza de ruído branco e distribuição normal. Com base nisto podemos definir a relação geral do modelo do seguinte modo (Eq. 4):

$$DLCO2_{it} = \beta_{0i} + \sum_{j=1}^{n1} \beta_{1j}DLCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^{n2} \beta_{2j}DLGdp_{it-j} + \sum_{j=0}^{n3} \beta_{3j}DLCbf_{it-j} + \sum_{j=0}^{n4} \beta_{4j}DLNrr_{it-j} + \sum_{j=0}^{n5} \beta_{5j}LUrb_{it-j} + \sum_{j=0}^{n6} \beta_{6j}LGlo_{it-j} + \delta_0DLCO2_{it-1} + \delta_1DLGdp_{it-1} + \delta_2DLCbf_{it-1} + \delta_3DLNrr_{it-1} + \delta_4LUrb_{it-1} + \delta_5LGlo_{it-1} + \mu_{it} \quad (Eq.4)$$

Onde os sinais esperados dos parâmetros são:  $\beta_{0i} \neq 0$ ;  $\beta_{1j} \neq 0$ ;  $\beta_{2j} > 0$ ;  $\beta_{3j} > 0$ ;  $\beta_{4j} \neq 0$ ;  $\beta_{5j} \neq 0$ ;  $\beta_{6j} \neq 0$ ;  $-1 \leq \delta_0 < 0$ ;  $\delta_1 > 0$ ;  $\delta_2 > 0$ ;  $\delta_3 \neq 0$ ;  $\delta_4 \neq 0$ ; e  $\delta_5 \neq 0$ .

Todavia, para analisar a relação entre emissões de CO2, consumo de combustíveis fósseis e crescimento económico, utilizamos o termo de correção de erros definido por Pesaran et al. (2001) e Ahmad & Du (2017), cuja formulação matemática pode ser apresentada do seguinte modo (Eq. 5):

$$\Delta DLCO2_{it} = \beta_{10i} + \sum_{j=1}^{n1} \beta_{11j}\Delta DLCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^{n2} \beta_{12j}\Delta DLGdp_{it-j} + \sum_{j=0}^{n3} \beta_{13j}\Delta DLCbf_{it-j} + \sum_{j=0}^{n4} \beta_{14j}\Delta DLNrr_{it-j} + \sum_{j=0}^{n5} \beta_{15j}\Delta LUrb_{it-j} + \sum_{j=0}^{n6} \beta_{16j}\Delta LGlo_{it-j} + \delta_{10}DLCO2_{it-1} + \delta_{11}DLGdp_{it-1} + \delta_{12}DLCbf_{it-1} + \delta_{13}DLNrr_{it-1} + \delta_{14}LUrb_{it-1} + \delta_{15}LGlo_{it-1} + \mu_{1it} \quad (Eq.5)$$

A equação 5, diz-nos que  $\Delta$  é o operador de diferença,  $\beta_{10i}$  são as constantes,  $\mu_{1it}$  é o termo de erro na forma de ruído branco,  $\beta_{11}-\beta_{16}$  são os parâmetros de curto prazo do modelo, e  $\delta_{10}-\delta_{15}$  traduzem as relações de longo prazo entre as variáveis do modelo.

Alternativamente à Eq. 5, e seguindo Ahmad & Du (2017), estimados os coeficientes de longo de prazo, obtêm-se os resíduos da estimação, e usam-se os resíduos desfasados um período ( $ECT_{t-1}$ ) na estimação dos coeficientes de curto prazo (Eq.6):

$$\begin{aligned} \Delta DLCO2_{it} = & \beta_{20i} + \sum_{j=1}^{n1} \beta_{21j} \Delta DLCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^{n2} \beta_{22j} \Delta DLGdp_{it-j} + & (Eq.6) \\ & \sum_{j=0}^{n3} \beta_{23j} \Delta DLCbf_{it-j} + \sum_{j=0}^{n4} \beta_{24j} \Delta DLNrr_{it-j} + \sum_{j=0}^{n5} \beta_{25j} \Delta LUrb_{it-j} + \\ & \sum_{j=0}^{n6} \beta_{26j} \Delta LGlo_{it-j} + \eta_{21} ECT_{it-1} + \mu_{2it} \end{aligned}$$

Na equação 6 a expressão  $ECT_{t-1}$  diz respeito ao termo de correção de erro. Assim, de acordo com Hendry (1995) *apud* Fuinhas & Marques (2012), adotamos a abordagem de modelagem geral que permite o desenvolvimento de um modelo mais parcimonioso possível e que passe nos testes de diagnósticos: (i) teste de normalidade de Jarque-Bera; (ii) teste LM de correlação serial de Breusch-Godfrey; (iii) Teste ARCH de heterocedasticidade; e (iv) Teste Ramsey RESET para especificação do modelo.

De acordo com Asteriou & Hall (2021), para estimar os coeficientes das variáveis dispostas em dados em painel podemos utilizar três diferentes métodos: (i) usando uma constante comum para todas as observações; (ii) usando o método dos efeitos fixos e (iii) usando os efeitos aleatórios.

A utilização do método com constante única (OLS agrupado) parte do princípio que não existe diferenças entre as variáveis observadas na secção transversal, ou seja, o modelo procura estimar uma única constante para unidades transversais, no caso concreto para todos os países. Por sua vez, o método dos efeitos aleatórios considera efeitos não observados presentes nos dados. Dai decorre que, a variabilidade da constante para cada individuo provém da seguinte relação (Eq.7):

$$\beta_i = \beta_0 + v_i \quad (Eq.7)$$

$$DLCO2_{it} = (\beta_0 + v_i) + \beta_{Gdp} DLGdp_{it} + \beta_{Cbf} DLCbf_{it} + \beta_{Nrr} DLNrr_{it} + \beta_{Urb} LUrb_{it} + \beta_{Glo} LGlo_{it} + \mu_{it} \quad (Eq.8)$$

$$DLCO2_{it} = \beta_0 + \beta_{Gdp} DLGdp_{it} + \beta_{Cbf} DLCbf_{it} + \beta_{Nrr} DLNrr_{it} + \beta_{Urb} LUrb_{it} + \beta_{Glo} LGlo_{it} + (v_i + \mu_{it}) \quad (Eq.9)$$



**Tabela 6 - Breusch and Pagan**

	<b>Var</b>	<b>SD = sqrt (Var)</b>
<i>DLCO2pc</i>	.0015551	.0394345
<i>E</i>	.000113	.0106319
<i>U</i>	2.04e-06	.0014285

Fonte: elaboração própria

A tabela 6 apresenta os resultados do teste do teste de diagnóstico entre o método de constante comum e os efeitos aleatórios para os dados da amostra. Os resultados apresentam que os efeitos aleatórios são preferíveis ao método que consiste na utilização de uma constante comum, ressaltando a superioridade da existência de parâmetros aleatórios comparativamente a situação em que se procura estimar uma única constante para todos os países observados na amostra.

Ainda segundo Asteriou & Hall (2021), na aplicação dos métodos de efeitos fixos, a constante assume-se como uma componente específica do grupo de análise, ou seja, o modelo permite que a constante seja diferente para cada grupo de análise. Logo, a relação matemática pode ser definida com base na equação 3.

**Tabela 7 - Teste de hausman, efeitos fixos vs. efeitos aleatórios (sigmamore)**

	<b>(b) Fixos</b>	<b>(B) Aleatórios</b>	<b>(b-B) Diferença</b>	<b>sqrt(diag(V_b-V_B)) Desv. Pad. dos erros</b>
<b>DLCbfp</b>	.9368097	.9236626	.0131472	.0040323
<b>DLGdpc</b>	.079139	.070239	.0089	.0060698
<b>DLNrr</b>	.0017277	.0016786	.0000492	.0006267
<b>LUrb</b>	.2478013	.1087472	.1390542	.1597197
<b>LGlo</b>	.0107069	.0160752	-.0053683	.0064921
<b>LI_CO2pc</b>	-.0953565	-.0076257	-.0877309	.0154558
<b>LI_Cbfp</b>	.1014051	.0070876	.0943175	.0149984
<b>LI_Gdpc</b>	-.0040756	-.0017507	-.0023249	.0039949
<b>LI_Nrr</b>	.0021578	.0005426	.0016152	.0011648
<b>LI_Urb</b>	-.2330328	-.1062454	-.1267874	.154449
<b>LI_Glo</b>	-.0183949	-.0097009	-.008694	.0073011

$$\chi^2(11) = (b-B)'(V_b-V_B)^{-1}(b-B) = 49.90$$

**Prob > chi2 = 0.0000**

Fonte: elaboração própria

A tabela 7 fornece os resultados de diagnóstico entre a utilização dos métodos dos efeitos aleatórios e o método dos efeitos fixos. Os resultados mostram que o método dos efeitos fixos é preferível ao método dos efeitos aleatórios para os países constante da amostra. Assim, na presente dissertação em função dos testes de diagnóstico, os dados serão estimados em função da utilização dos efeitos fixos, ressaltando assim, que para análise dos países do G20, torna-se mais consistente assumir a existência de componentes específicas do grupo de análise que não variam necessariamente com o tempo, permitindo

que a constante seja diferenciada para cada grupo de análise. Porém, ainda segundo Asteriou & Hall (2021), os efeitos fixos possibilitam:

- a) A captura de todos os efeitos específicos das unidades individuais de forma particular e que não variam ao longo do fator tempo. Neste caso, em presença de um painel composto por países, a utilização dos efeitos fixos seria ideal, dado que poderá existir alguns fatores tais como geográficos e recursos naturais que podem variar entre países, mas não variam em função do tempo.
- b) Poderá facilitar a utilização de um número relativamente considerável de constante fictícias, dado que alguns países podem apresentar um número grande de unidades individuais. Assim, o modelo de efeitos fixos consumiria  $N$  graus de liberdade, porém, isto não se configura como um problema de maior, pois sempre haverá um número crucial de ponto de dados.

### **3.3. Resultados e Discussão**

Tal como foi observado anteriormente, o modelo ARDL pode ser aplicado na presença de variáveis com diferentes ordens de integração ou associação, desde que as séries não sejam essencialmente integradas de ordem dois ou  $I(2)$ . Os testes de raízes unitárias, cf., tabela em anexo, indica que na presente dissertação temos variáveis  $I(1)$ , designadamente emissões de dióxido de carbono per capita, produto interno bruto per capita, consumo de combustíveis fósseis per capita e investimento em recursos naturais. E variáveis  $I(0)$ , nomeadamente urbanização e globalização. Esta perspectiva por sua vez, aumenta o grau de viabilização ou consistência do modelo utilizado.

Um dos aspetos cruciais consiste em assegurar que os estimadores não apresentam autocorrelação, correlação contemporânea e heterocedasticidade. Para isso usamos um estimador robusto designado por *Driscoll & Kraay standard errors*, permitindo assim uma melhor análise do processo de interação entre as variáveis do modelo e deste modo possibilita assegurar que o processo dinâmico dos parâmetros é estável. Os dados da regressão incluindo todas as variáveis do modelo são apresentadas na tabela 8.

**Tabela 8-**Driscoll & Kraay (modelo completo)

Variável dependente: dlCO2pc							
Variáveis	Coefficient	std. err.	t	P>t	[95% conf.	interval]	
<b>DLCbfp</b>	.9368097	.0344315	27.21	0.000	.86628	1.007339	
<b>DLGdpc</b>	.079139	.0322849	2.45	0.021	.0130064	.1452716	
<b>DLNrr</b>	.0017277	.0016196	1.07	0.295	-.00159	.0050454	
<b>LUrb</b>	.2478013	.1515461	1.64	0.113	-.0626268	.5582295	
<b>LGlo</b>	.0107069	.0223283	0.48	0.635	-.0350306	.0564444	
<b>L_ICO2pc</b>	-.0953565	.0309673	-3.08	0.005	-.1587901	-.031923	
<b>L_ICbfp</b>	.1014051	.0318606	3.18	0.004	.0361416	.1666685	
<b>L_IGdpc</b>	-.0040756	.0067817	-0.60	0.553	-.0179672	.009816	
<b>L_LNrr</b>	.0021578	.0008228	2.62	0.014	.0004724	.0038431	
<b>L_LUrb</b>	-.2330328	.1463406	-1.59	0.123	-.5327978	.0667323	
<b>L_LGlo</b>	-.0183949	.0208499	-0.88	0.385	-.061104	.0243142	
<b>_cons</b>	.5150674	.1787825	2.88	0.008	.148848	.8812868	
						<b>AIC:</b> -3450.552	
						<b>BIC:</b> -3398.812	

Fonte: elaboração própria

A tabela 8 reflete os resultados da regressão de todas as variáveis de estudo usando os efeitos fixos, incluindo as defasagens significativas (lag 3) para cada variável no modelo, tendo em conta as especificações definidas. Todavia, tal como assegura Fuinhas & Marques (2012), a definição metodológica deve possibilitar a adoção de um modelo mais parcimonioso possível que passe nos diferentes testes de diagnósticos.

Assim, o nosso modelo foi reduzido para a modelagem infra, cuja formulação matemática pode ser especificada do seguinte modo (Eq.10):

$$DLCO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 DLCO2_{it-1} + \beta_2 DLGdp_{it-1} + \beta_3 DLCbfp_{it-1} + \delta_0 DLCO2_{it-1} + \delta_1 DLCbfp_{it-1} + \delta_2 LNrr_{it-1} + \delta_3 LGlo_{it-1} + \mu_{it} \quad (\text{Eq.10})$$

A definição do modelo parcimonioso foi feita recorrendo à comparação do AIC/BIC do modelo completo com o AIC/BIC do modelo parcimonioso. Com base nos números, pode-se verificar que o modelo parcimonioso apresenta menor valor (AIC/BIC) comparativamente ao modelo completo. Assim, justifica-se a adoção do modelo parcimonioso como o mais adequado, cujo resultado é apresentado na tabela 9.

**Tabela 9-** Driscoll & Kraay (modelo parcimonioso)

Variável dependente:DLCO2pc							
Variáveis	Coefficient	std. err.	t	P>t	[95% conf.	interval]	
DLCbfp	.939189	.0330278	28.44	0.000	.8715347	1.006843	
DLGdpc	.0812895	.0284883	2.85	0.008	.0229338	.1396452	
L_ICO2pc	-.0921	.0274025	-3.36	0.002	-.1482315	-.0359686	
L_ICbfp	.0965107	.0277978	3.47	0.002	.0395694	.153452	
L_INrr	.0015554	.0008557	1.82	0.080	-.0001973	.0033082	
L_IGlo	-.0069829	.003236	-2.16	0.040	-.0136115	-.0003542	
_cons	.4967614	.136629	3.64	0.001	.2168895	.7766333	
						AIC: -3456.338	
						BIC: -3426.156	

Fonte: elaboração própria

A tabela 10 sistematiza as estimativas e os respectivos níveis de significância dos impactos de curto e longo prazo, incluindo nisso a velocidade de ajustamento do modelo para o período longo.

**Tabela 10-** Estimativas (elasticidades e ECM)

Variável	Estimativas
<b>Impactos de curto prazo</b>	
DLCbfp	0.9392***
DLGdpc	0.0813***
<b>Velocidade de ajustamento do modelo (ECM)</b>	
L_ICO2pc	-0.0921***
<b>Impactos de longo prazo</b>	
L_ICbfp	1.04789***
L_IGlo	-.0758184**
L_INrr	.0168885*
N	551
F	916.9182

Notas: \* p<.1; \*\* p<.05; \*\*\* p<.01

Fonte: elaboração própria

### **Análise dos efeitos de curto prazo**

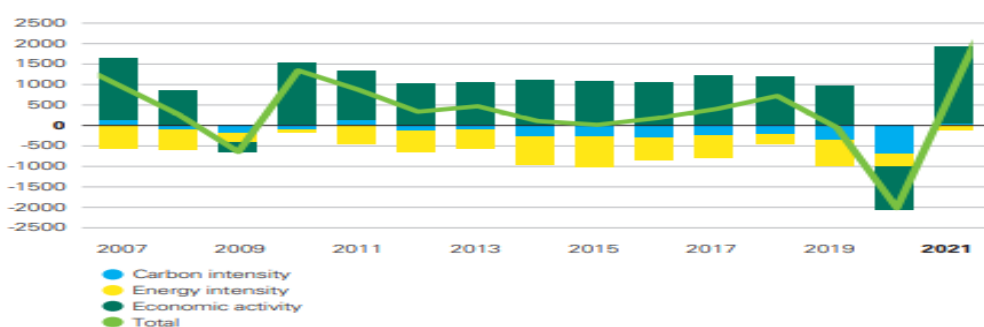
A tabela 10, apresenta os níveis de significância das variáveis considerando os níveis de 1%, 5% e 10%. Desse modo, torna-se necessário avaliar o impacto de cada variável explicativa sobre a variável dependente em um contexto de curto prazo.

Do modelo parcimonioso, verifica-se que o coeficiente associado ao consumo de combustíveis fósseis per capita é positivo e estatisticamente significativo ao nível de (1%).

Assim, infere-se que o consumo de combustíveis fósseis é tendencialmente relevante para explicar e aumentar as emissões de dióxido de carbono e contribuir para a degradação ambiental nos países do G20 numa perspetiva de curto prazo, através do qual um aumento de 1% no consumo de combustíveis fósseis aumentaria as emissões de CO<sub>2</sub> em 0,94%. Estas estimativas por sua vez, alteiam a reflexão apresentada por Mikayilov *et al.* (2018), segundo a qual as quantidades crescentes do consumo de combustíveis fósseis absorvem calor e provocam o aquecimento global, originando por essa via mudanças gravosas no meio ambiente. Neste prisma, o desenvolvimento de ações que aumentam o consumo de combustíveis fósseis comprometem a continuidade da vida humana, bem como a sustentabilidade das gerações futuras. Assim, a problemática do consumo de combustíveis fósseis continuará a ser uma preocupação acentuada para os governos, de forma particular para os países do G20 no processo de formulação de políticas e ações que visam mitigar os efeitos nocivos sobre o meio ambiente. Assim sendo, o desestímulo de práticas relacionadas com a construção oleodutos, gasodutos e aumento do consumo de carvão, poderá direcionar os países aos objetivos de desenvolvimento sustentáveis e melhorar de forma significativa a ação climática e proteger o meio ambiente. Tal como assevera Lotfalipour *et al.* (2010), uma boa parte da energia consumida a nível mundial, (mais de 80%) provém da utilização de combustíveis fósseis originários do carvão, petróleo e gás natural, sendo essas por excelência as causas fundamentais do processo de aquecimento global.

Paralelamente, os resultados da regressão assinalam que o coeficiente da variável PIB per capita é positivo e estatisticamente significativo ao nível de (1%). Dai decorre que o crescimento económico é particularmente relevante para explicar as emissões de dióxido de carbono no curto prazo nos países do G20, por meio do qual, se pode inferir que um aumento de um 1% no produto interno bruto per capita dos países do G20 aumentaria as emissões de CO<sub>2</sub> em 0,0813%. Por tanto, estes resultados sugerem que no curto prazo aumentos nos níveis de crescimento económico tem um efeito positivo nas emissões de dióxido de carbono dos países do G20, o que pressupõe que não é possível aumentar os níveis de crescimento económico sem incorrer a um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>. Tal fato poderá decorrer da intuição que na fase inicial ou de relançamento do crescimento económico, a utilização de energias não limpas para financiar o processo produtivo tende a ser maior que as fontes limpas, tal como se pode observar no processo de recuperação das economias a crise sanitária (COVID-19), bem como na crise

energética provocada pela guerra na Ucrânia. Ademais, os resultados encontrados estão de acordo com os resultados apresentados por Dinda (2004), segundo a qual a qualidade ambiental tende a degradar-se na fase inicial do crescimento/desenvolvimento económico. Os resultados também vão de encontro aos resultados apresentados por Bacon & Bhattacharya (2007), que enfatiza que uma parte considerável das emissões de CO<sub>2</sub> é atribuída ao crescimento/desenvolvimento económico dos países, bem como dos resultados apresentados por Coondoo & Dinda (2008) e Lotfalipour *et al.* (2010), em que estima-se que o rendimento provoca mudanças ambientais comprometendo por essa via a qualidade ambiental. Todavia, essa relação positiva e estatisticamente significativa entre emissões de CO<sub>2</sub> e produto interno bruto, sugere que no curto prazo, o desenvolvimento ou aplicação de medidas que visam reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> poderá implicar uma desaceleração da atividade económica. Estes resultados corroboram a situação verificada com a crise de saúde pública em que a redução do nível de atividade económica permitiu uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub>. Tal como podemos observar no gráfico abaixo, as emissões de energia observaram uma recuperação acentuada em 2021 fruto do processo de relançamento da atividade económica –, decorrente da recuperação das economias ao confinamento (*lockdown*) e outras medidas restritivas relacionadas à COVID-19. Nota-se também que neste período houve um maior aumento do consumo de energia, o que provocou um aumento na intensidade das emissões de dióxido de carbono, o que vai de acordo aos resultados encontrados de que no curto prazo a atividade económica impacta as emissões de dióxido de carbono.



Fonte: BP Global

Figura 1-Mudanças nas emissões de CO<sub>2</sub>

No que diz respeito as variáveis explicativas adicionais, designadamente investimento em recursos naturais, urbanização e globalização, os seus coeficientes de curto prazo apresentam sinais positivos e são estatisticamente não significantes e, portanto, torna difícil a sua interpretação do ponto de vista estatístico. Assim, podemos inferir em termos genéricos que no curto prazo o investimento em recursos naturais tem um efeito positivo nas emissões de CO<sub>2</sub>, tal fato poderá derivar da situação que uma maior exploração dos recursos naturais implicaria uma certa degradação do meio ambiente, liberando efeitos nocivos ao mesmo. Relativamente a urbanização e globalização os seus coeficientes também são estatisticamente não significantes no curto prazo, decorrendo daí que na fase inicial do processo de urbanização e globalização, os países tendem a degradar mais o meio ambiente, originando deste modo um maior nível de emissões de CO<sub>2</sub>, apesar de não possuir relevância estatística. Todavia, é razoável sugerir que apesar das políticas de investimento em recursos naturais e sistemas de urbanização não possuem uma relação significativa com as emissões de CO<sub>2</sub> para os países do G20, não podemos ignorar a valorização e a adoção de medidas que protegem o meio ambiente e reduzam as emissões de dióxido de carbono. Outrossim, o fato da relação encontrada não ser estatisticamente significativa não implica que o investimento em recursos naturais, urbanização e globalização não tenham efeitos indiretos e relevantes no processo de emissões de dióxido de carbono.

### ***Velocidade de ajustamento do modelo***

As estimações incluem o mecanismo de correção de erros (ECM) ou a velocidade de ajustamento do modelo, cf., tabela 10. Segundo Saiani (2022), a análise do mecanismo de correção de erros é relevante em função dos desequilíbrios verificados no curto prazo serem vistos como um processo de ajuste para o equilíbrio de longo prazo. Todavia, pode-se inferir que uma maior velocidade do processo de ajustamento implica que as relações de equilíbrio entre as variáveis tendem a regressar ao estado estável de forma mais rápida. Igualmente, uma menor velocidade do processo de ajustamento significa um retorno mais lento das relações ao estado estável. Na presente dissertação, tendo em conta o nível de significância da velocidade de ajustamento do modelo (-0.0921 e p-value=0,002), podemos afirmar que as relações de equilíbrio entre variáveis no processo de transição de curto para o longo prazo tendem a ocorrer rapidamente.

### ***Análise dos efeitos de longo prazo***

Igualmente a tabela 10 sistematiza o resultado da elasticidade de longo prazo da variável consumo de combustíveis fósseis per capita, tal como se pode verificar, o seu coeficiente é positivo e estatisticamente significativo a (1%). Dai decorre, que o consumo de combustíveis fósseis tem um efeito positivo no longo prazo sobre as emissões de dióxido de carbono nos países do G20, na qual um aumento de (1%) no consumo de combustíveis fósseis aumentaria as emissões de CO<sub>2</sub> em (1,05%), o que é maior que a elasticidade encontrada no curto prazo. Assim, os resultados sugerem que no longo prazo, o consumo de combustíveis fósseis impacta mais as emissões de CO<sub>2</sub> do que no curto prazo, o que implica uma maior degradação do meio ambiente e aumento do efeito estufa. Assim, para os países do G20 o desenvolvimento de medidas que visam reduzir o consumo de combustíveis fósseis deve ser encarado como uma medida prioritária, por forma a minimizar os efeitos sobre o meio ambiente e garantir a sustentabilidade das gerações futuras. Estes resultados continuam alinhados com o pensamento de Lotfalipour *et al.* (2010).

Vale ressaltar que em função dos resultados apresentado pelo modelo parcimonioso a variável produto interno bruto per capita revela-se estatisticamente não significativo no longo prazo, o que pressupõe que o crescimento económico não tem efeitos relevantes sobre as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo possível, então, descartar a possibilidade de que para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> no longo prazo será necessário reduzir o nível de atividade económica. Este fato, nos permite inferir, apesar de não ser o objetivo fundamental do estudo, conforme apresentado por Dinda (2004), de que a qualidade ambiental se degrada na fase inicial do crescimento económico e tende a melhorar à medida que uma determinada economia atinge níveis de desenvolvimento consideráveis, ou seja, a pressão ambiental aumenta mais do que proporcional ao rendimento na fase inicial e desacelera em relação ao crescimento elevado do rendimento. Esse pressuposto que visa relacionar o rendimento e qualidade ambiental designa-se por EKC. Por outro lado, resultados semelhantes foram encontrados por Ghosh (2010), em que os resultados encontrados não sugeriram uma relação de equilíbrio de longo prazo entre crescimento económico e emissões de CO<sub>2</sub> e similar a investigação apresentada por Soytaş & Sari (2009), em que sugerem que não existe uma relação de causalidade à Granger de longo prazo entre crescimento económico, emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia na Turquia.



Assim, a ausência de uma relação de longo prazo entre crescimento económico e emissões de CO<sub>2</sub> nos países do G20 implica que, as adoções de fontes limpas podem ser utilizadas sem necessariamente reduzir o nível de atividade económica, reduzindo assim o consumo de poluentes ambientes e diminuir o hiato entre as diferentes lacunas verificadas no processo de adoção de práticas que se garantam sustentáveis para o meio ambiente, e ressaltando a ideia que os países do G20 no longo prazo não precisam desacelerar a atividade económica para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

Similarmente, a tabela 10 também fornece a elasticidade de longo prazo da variável globalização e investimentos em recursos naturais. As evidências mostram que o coeficiente da variável globalização é negativo e estatisticamente significativo a (5%). Com base nisso, podemos inferir que para os países do G20 no longo prazo, a globalização tem um efeito negativo nas emissões de CO<sub>2</sub>. Tal fato poderá ser justificado pela adoção de práticas e medidas que promovam a integração económica sem necessariamente prejudicar o meio ambiente, dando abertura económica e comercial aquelas empresas que oferecem produtos sustentáveis, o que por sua vez contribui para uma maior sustentabilidade do meio ambiente e redução do efeito estufa. Assim, no longo prazo um aumento de (1%) na globalização reduziria as emissões de dióxido de carbono em (0,076%). Nota-se que o seu coeficiente de curto prazo é positivo e estatisticamente não significativo. Por outro lado, o coeficiente da variável investimento em recursos naturais é positivo e estatisticamente significativo a (10%). Apesar de possuir uma significância reduzida, pode-se inferir que para os países do G20 no longo prazo, o investimento em recursos naturais tem um efeito positivo nas emissões de CO<sub>2</sub>. Tal fato poderá ser justificado pela exploração inconsequentes de recursos naturais, o que por sua vez contribui para aumentar o efeito estufa e comprometer a sustentabilidade ambiental. Assim, no longo prazo um aumento de (1%) no investimento em recursos naturais aumentaria as emissões de dióxido de carbono (0.017%). Nota-se que o coeficiente de curto prazo é positivo e estatisticamente não significativo

Todavia, pode-se observar igualmente que a urbanização se revelou como estatisticamente não significativo no longo prazo, derivando dessa análise que o seu coeficiente não é relevante para explicar as emissões de dióxido de carbono no longo prazo nos países do G20. Por último, pode-se sugerir que a medida que os países enfrentam estágios de desenvolvimentos consideráveis nos diversos domínios, o efeito prejudicial ou benéfico dessa medida sobre o meio ambiente é considerado irrelevante.

Em similitude ao verificado no curto prazo. De igual modo no longo prazo a variável urbanização não concorre para explicar o comportamento das emissões de dióxido de carbono nos países do G20, tendo um contributo de análise bastante residual.

### *Análise de robustez*

A análise de robustez na presente dissertação incidiu na aplicação dos pressupostos inerentes ao modelo ARDL aos países do G7, traduzindo-se numa simplificação da amostra de estudo. Relativamente aos procedimentos de estimativa do modelo, foi possível verificar com base nos testes de diagnósticos que o método dos efeitos fixos se assume como particularmente relevante em função dos resultados apresentados pelo teste de hausman, o que é similar ao encontrado no modelo definido para o G20.

No que diz respeito aos resultados, foi possível observar que o consumo de combustíveis fósseis tem um efeito positivo e estatisticamente significativo no curto e no longo prazo para explicar as emissões de CO<sub>2</sub> nos países do G7. Estes resultados convergem com os resultados encontrados na análise do G20 e com os resultados de Lotfalipour *et al.* (2010). Por sua vez, o produto interno bruto revelou-se não significativo para explicar as emissões de CO<sub>2</sub> nos países do G7 numa perspetiva de curto e longo prazo, o que por sua vez é similar aos resultados anteriores, exceto, que quando aplicado a uma amostra relativamente ampla (G20), ela (PIB) revela-se significativa no curto prazo. Nota-se também, que as estimações incluem o mecanismo de correção de erros (ECM) ou a velocidade de ajustamento do modelo, cf., tabela 11. Todavia, o modelo Autorregressivo de Desfasamento Distribuído (ARDL), pode ser utilizado para diferentes contextos, desde que se respeite os procedimentos definidos na sua aplicação.

**Tabela 11**-Driscoll & Kraay (análise de robustez)

Variável dependente: DICO2pc							
Variáveis	Coefficient	std. err.	t	P>t	[95% conf.	interval]	
DLCbfp	.9763733	.0234106	41.71	0.000	.9284189	1.024328	
L_ICO2pc	-.0890592	.0298898	-2.98	0.006	-.1502857	-.0278327	
L_ICbfp	.0906057	.0300317	3.02	0.005	.0290885	.1521229	
L_INrr	.0018748	.000945	1.98	0.057	-.0000611	.0038106	
_cons	.4091842	.136121	3.01	0.006	.1303531	.6880154	

Fonte: elaboração própria

## Capítulo 4. Conclusão

A presente dissertação utiliza dados anuais do PIB medido a preços constantes de 2015; emissões de dióxido de carbono provenientes da energia, emissões de processos, metano e queima em milhões de toneladas equivalentes; consumo de petróleo, consumo de carvão e gás natural medido em exajoules; urbanização em percentagem da população total; globalização na forma de índice e investimentos em recursos naturais em percentagem do PIB. As variáveis consumo de petróleo, consumo de carvão e gás natural medido em exajoules foram utilizadas como proxy do consumo de combustíveis fósseis, uma vez que os dados sobre o consumo de combustíveis fósseis não estavam disponíveis, resultando que na presente dissertação, o consumo de combustíveis fósseis resulta do somatório do consumo de petróleo, consumo de carvão e gás natural medido em exajoules. Os dados anuais das séries temporais correspondem ao período de 1990-2019. Os teste de raízes unitárias confirmam a estacionaridade dos dados utilizados na amostra para os países do G20, verificando-se uma mistura de variáveis  $I(0)$  e  $I(1)$ . A metodologia que nos permitiu relacionar as variáveis foi feita recorrendo à abordagem do modelo Autorregressivo de Desfasamento Distribuído (ARDL).

Ora, face aos resultados podemos concluir que o consumo de combustíveis fósseis é tendencialmente relevante para explicar o aumento das emissões de dióxido de carbono e contribuir para a degradação ambiental nos países do G20. Decorrendo daí, que as políticas que visam reduzir o nível de utilização de combustíveis fósseis deverá ser prioritária dentro da agenda dos governos relacionados com a ação climática, dado que uma parte considerável da energia usada mundialmente provém da utilização de combustíveis fósseis originários do carvão, petróleo e gás natural, sendo essas por excelência as causas fundamentais do processo de aquecimento global. Assim, os resultados sugerem que no longo prazo, o consumo de combustíveis fósseis impacta mais as emissões de CO<sub>2</sub> do que no curto prazo, o que implica uma maior degradação do meio ambiente e aumento do efeito estufa.

Similarmente, os resultados sugerem que a variável PIB per capita é positivo e estatisticamente significativa no curto prazo a nível de (1%), mas torna-se não significativa no longo prazo para os países do G20. Desse pressuposto resulta que, o crescimento económico é tendencialmente relevante para explicar as emissões de CO<sub>2</sub> no curto prazo para os países do G20, através do qual, supõe-se que no curto prazo não é possível

conduzir uma política de crescimento económico sem aumentar as emissões de CO<sub>2</sub>. Porém, essa relação torna-se não significativa no longo prazo, sugerindo que os países do G20 para reduzirem o nível de emissões de CO<sub>2</sub> não precisam desacelerar o nível de crescimento económico.

Concernente às variáveis investimento em recursos naturais, globalização e urbanização todas revelaram-se não significantes no curto prazo, e, portanto, não tem qualquer efeito para explicar as emissões de CO<sub>2</sub> nos países do G20. Ao passo que as variáveis globalização e investimento em recursos naturais apresentaram-se como sendo significantes no longo prazo ao nível de 5% e 10% respetivamente.

Contudo, a presença de uma relação de curto e longo prazo entre emissões de CO<sub>2</sub> e combustíveis fósseis, bem como a ausência de uma relação de longo prazo entre crescimento económico e emissões de CO<sub>2</sub> nos países do G20 implica que, as adoções de fontes limpas podem ser utilizadas sem necessariamente reduzir o nível de atividade económica, reduzindo assim o consumo de poluentes ambientes e diminuir o hiato entre as diferentes lacunas verificadas no processo de adoção de práticas que se garantam sustentáveis relacionadas com as alterações climáticas resguardadas na agenda de desenvolvimento sustentáveis das Nações Unidas.

### ***Implicações de política económica***

Os resultados provenientes do presente estudo possuem implicações importantes no desenvolvimento de políticas económicas dos países do G20, dada a relevância desses países no panorama mundial e o posicionamento nos diferentes acordos sobre a ação climática. Assim, o consumo de combustíveis fósseis e o crescimento económico desempenham um papel crucial no aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, o que por sua vez exige esforços conjuntos no desenvolvimento de políticas que visam reduzir o consumo de combustíveis fósseis e garantir a sustentabilidade das gerações futuras, evitando deste modo fontes de produção prejudiciais ao meio ambiente, designadamente no que diz respeito a redução das infraestruturas fósseis como gás natural, carvão e petróleo. Entretanto, o desenvolvimento de tais medidas, poderá minimizar o efeito estufa e incentivar a utilização de fontes de energia limpas para garantir a continuidade do crescimento económico, bem-estar social e qualidade ambiental.

### ***Limitações da investigação***

Tal como qualquer trabalho científico, a presente dissertação também enfrenta limitações. A principal limitação de estudo consistiu na ausência da aplicação de técnicas complementares à utilização do modelo Autorregressivo de Desfasamento Distribuído, como testes de cointegração, no intuito de se verificar possíveis correlações ou associações de longo prazo entre as variáveis analisadas. Por outro lado, não foi também possível estabelecer relações causais entre as variáveis, com o objetivo de determinar ligações inversas entre elas.

### ***Investigação futura***

A ocorrência de ações controversas relacionadas ao clima, bem como a crise energética que se vive atualmente, elevam a importância do desenvolvimento de estudos futuros neste domínio usando outras técnicas, incluindo nisto a análise das especificidades de cada país constante do G20, com o intuito de ajudar os governos e de forma particular as Nações Unidas no desenvolvimento de políticas de longo prazo que se garantam adequadas para minimizar o efeito estufa e melhorar a qualidade ambiental.

## Referências Bibliográficas

- Ahmad, N., & Du, L. (2017). Effects of energy production and Co2 emissions on economic growth in Iran: ARDL approach. *Energy*, *123*, pp. 521-537.
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, *35(10)*, pp. 4772–4778.
- Ang, J. B. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, *30(2)*, pp.271–278.
- Apergis, N., & Payne, T. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption-growth, evidence of a panel error correction model. *Energy Saving*, *34(3)*, pp. 733-738.
- Asteriou, D., & Hall, S. G. (2021). *Applied Econometrics*. London: Macmillan international - Higher Education.
- Bacon, R.S., & Bhattacharya, S. (2007). Growth and CO2 emissions: how different countries . *Climate Change Series*, 113.
- Coondoo, D., & Dinda, S. (2008). Carbon dioxide emission and income: a temporal analysis of distributive patterns between countries. *Ecologic Economy*, *65(2)*, pp. 375-385.
- Climate Action Tracker (2022). Global reaction to energy crisis risks zero carbon transition. Cindy Baxter.
- Dickey, D., & Fuller, W. (1979). Distribution of estimates for self-regressive time series with unit root. *Journal of the American Statistical Association*, *74*, 427-431.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, *49(4)*, pp. 431-455.
- Fuinhas, J. A., & Marques, A. C. (2012). Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965–2009). *Energy Economics*, *34(2)*, pp. 511-517.
- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, *38(6)*, pp. 3008–3014.

- Global, B. (2023). *bp Statistical Review of World Energy*. Obtido de bp Statistical Review of World Energy: <http://www.bp.com/>.
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, *37*(3), pp. 1156–1154.
- Lin, B., & Xu, B. (2020). How does fossil energy abundance affect China's economic growth and CO<sub>2</sub> emissions? *Science of the Total Environment*, *719*, pp. 137503.
- Lise, W. (2006). Decomposition of CO<sub>2</sub> emissions over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy*, *34*(14), pp. 1841–1852.
- Lotfalipour, M. R., Falahi, M. A., & Ashena, M. (2010). Economic growth, CO emissions and fossil fuel consumption in Iran. *Energy*, *35*(12), pp. 5115-5120.
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A Comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *61*, pp.631-652.
- Mikayilov, J., Galeotti, M., & Hasanov, F. (2018). The impact of economic growth on Co<sub>2</sub> emissions in Azerbaijan. *Journal of Cleaner Production*, *197*, pp. 1558-1572.
- Ouattara, B. (2004). The Impact of Project Aid and Programme Aid Inflows on Domestic Savings: a Case Study of Côte d'Ivoire. *Conference of the Centre for the Study of African Economies on Growth, Poverty Reduction and Human Development in Africa*.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J.. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, *16*(3), pp.289-326.
- Pesaran, M. H. (2007). A Simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, *22*(2), pp.265–312 .
- Rehman, A., Ma, H., Ozturk, I., & Radulescu, M. (2022). Revealing the dynamic effects of fossil fuel energy, nuclear energy renewable energy, and carbon emissions on Pakistan's economic growth. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*, pp. 48784–48794.

- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO emissions and oil prices in The G7 countries. *Energy Saving*, 31(3), pp. 456-462.
- Saiani, C. C., Veríssimo, M. P., & Santos, P. L. (2022). Desigualdade de renda, pobreza, crescimento econômico e indústria no Brasil: relações de curto e longo prazos via Modelos ARDL. *Economia ensaios*, pp.206-234.
- Shahbaz, M., Hye, Q. M., Tiwari, A. K., & Leitão, N. C. (2013). Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO2 emissions in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, pp. 109-121.
- Soytas, U., & Sari, R. (2009). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68(6), pp. 1667-1675.
- Zhang, X.-P., & Cheng, X.-M. (2009). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in China. *Ecological Economy*, 68(10), pp. 706–2712.



## Apêndice

**Tabela 12 - Maddala & Wu (1999): especificação sem tendência**

Variável	lags	chi_sq p	p-valor
<b>DLCO2pc</b>	0	402.205	0.000
<b>DLCO2pc</b>	1	163.183	0.000
<b>DLCbfp</b>	0	413.309	0.000
<b>DLCbfp</b>	1	168.312	0.000
<b>DLGdpc</b>	0	300.883	0.000
<b>DLGdpc</b>	1	197.874	0.000
<b>DLNrr</b>	0	483.309	0.000
<b>DLNrr</b>	1	319.601	0.000
<b>LUrb</b>	0	681.901	0.000
<b>LUrb</b>	1	146.934	0.000
<b>LGlo</b>	0	231.369	0.000
<b>LGlo</b>	1	152.510	0.000

**Tabela 13-Maddala & Wu (1999): especificação com tendência**

Variável	lags	chi_sq p	p-valor
<b>DLCO2pc</b>	0	369.466	0.000
<b>DLCO2pc</b>	1	142.174	0.000
<b>DLCbfp</b>	0	391.009	0.000
<b>DLCbfp</b>	1	148.513	0.000
<b>DLGdpc</b>	0	263.790	0.000
<b>DLGdpc</b>	1	165.303	0.000
<b>DLNrr</b>	0	391.526	0.000
<b>DLNrr</b>	1	239.165	0.000
<b>LUrb</b>	0	193.716	0.000
<b>LUrb</b>	1	86.939	0.000
<b>LGlo</b>	0	56.829	0.0154
<b>LGlo</b>	1	55.917	0.0566

**Tabela 14-Pesaran (2007) especificação sem tendência**

Variável	lags	Zt-bar	p-valor	t-bar
DLCO2pc	0	12.314	0.000	.
DLCO2pc	1	-5.723	0.000	.
DLCbfp	0	12.885	0.000	.
DLCbfp	1	-5.635	0.000	.
DLGdpc	0	-8.670	0.000	.
DLGdpc	1	-5.078	0.000	.
DLNrr	0	16.253	0.000	.
DLNrr	1	10.221	0.000	.
LUrb	0	12.883	0.000	.
LUrb	1	10.818	0.000	.
LGlo	0	-3.436	0.000	.
LGlo	1	-2.970	0.001	.

**Tabela 15-Pesaran (2007) especificação com tendência**

Variável	lags	Zt-bar	p-valor	t-bar
DLCO2pc	0	10.816	0.000	.
DLCO2pc	1	-3.895	0.000	.
DLCbfp	0	11.427	0.000	.
DLCbfp	1	-3.486	0.000	.
DLGdpc	0	-7.650	0.000	.
DLGdpc	1	-3.413	0.000	.
DLNrr	0	15.092	0.000	.
DLNrr	1	-8.465	0.000	.
LUrb	0	4.246	1.000	.
LUrb	1	4.040	1.000	.
LGlo	0	-2.879	0.002	.
LGlo	1	-1.707	0.044	.

**Tabela 16-**Regressão com erros padrão Driscoll & Kraay (dummi)

<b>DLCO2pc</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Desv. Pad. dos erros</b>	<b>t</b>	<b>P&gt;t</b>	<b>[95% conf.</b>	<b>interval]</b>
<b>DLCbfp</b>	.936604	.0333088	28.12	0.000	.868374	1.004834
<b>DLGdpc</b>	.0726893	.0305074	2.38	0.024	.0101978	.1351808
<b>l_ICO2pc</b>	-.0908069	.0279021	-3.25	0.003	-.1479617	-.0336521
<b>l_ICbfp</b>	.0945394	.0281522	3.36	0.002	.0368722	.1522066
<b>l_lNrr</b>	.0010943	.0007513	1.46	0.156	-.0004446	.0026332
<b>l_lGlo</b>	-.0044889	.0031756	-1.41	0.169	-.0109938	.002016
<b>id1999</b>	-.004835	.000727	-6.65	0.000	-.0063241	-.0033458
<b>id2008</b>	.0028903	.0003645	7.93	0.000	.0021437	.0036369
<b>id2009</b>	-.0045957	.0008188	-5.61	0.000	-.006273	-.0029184
<b>id2015</b>	-.0040459	.0005395	-7.50	0.000	-.0051511	-.0029408
<b>id2016</b>	-.0033159	.0009479	-3.50	0.002	-.0052575	-.0013743
<b>_cons</b>	.4703655	.1343589	3.50	0.002	.1951438	.7455873

**Tabela 17-**Grupo dos 20

<b>Nº ordem</b>	<b>Designação</b>
01	Argentina
02	Austrália
03	Brasil
04	Canadá
05	China
06	França
07	Alemanha
08	Índia
09	Indonésia
10	Itália
11	Japão
12	República da Coreia
13	México
14	Rússia
15	Arábia Saudita
16	África do Sul
17	Turquia
18	Reino Unido
19	Estados Unidos da América
20	União Europeia

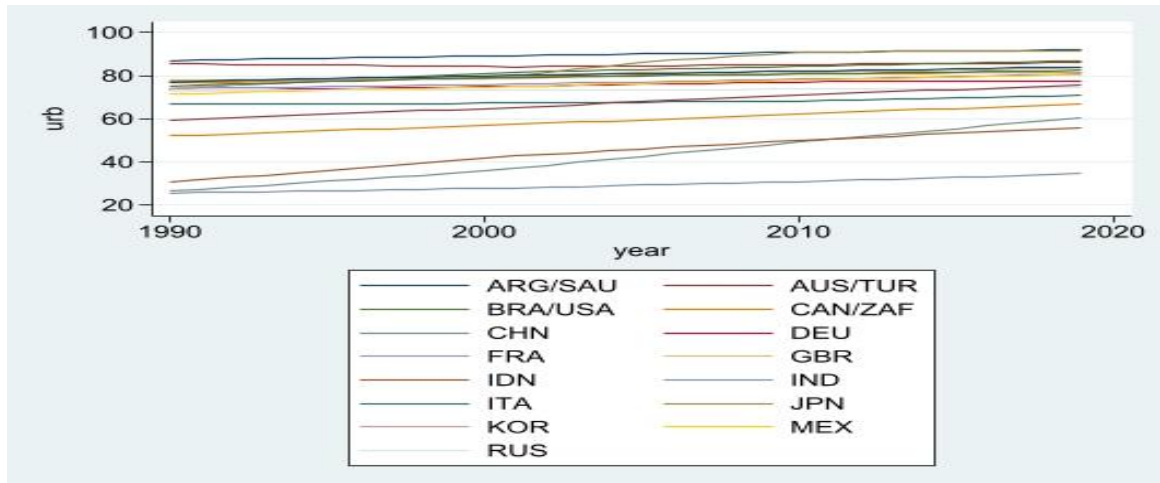


Figura 2-Urbanização em log

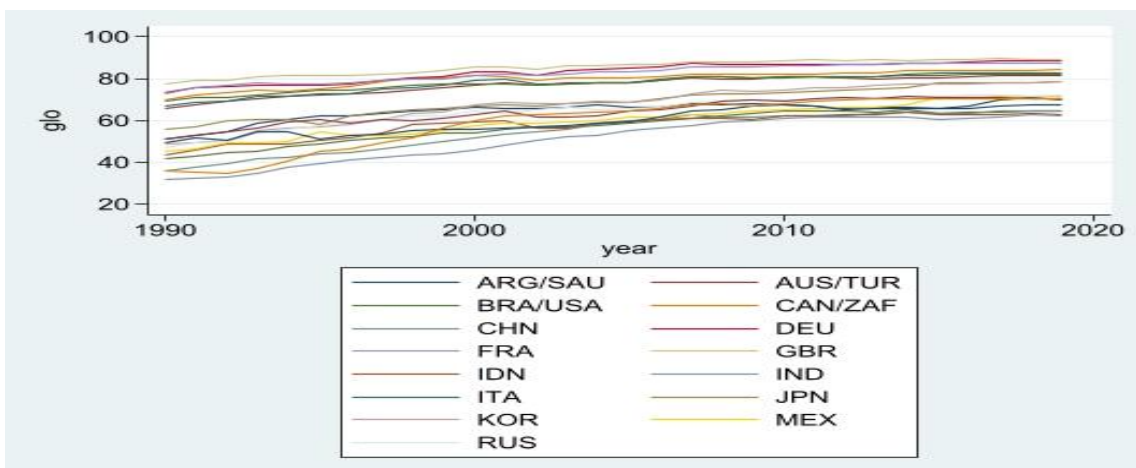


Figura 3-Globalização em log

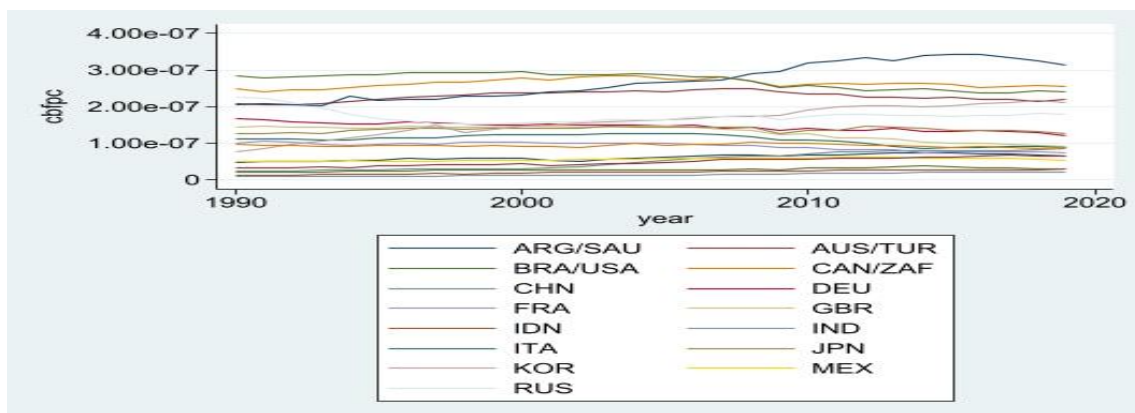


Figura 4-Consumo de Combustíveis Fósseis em log

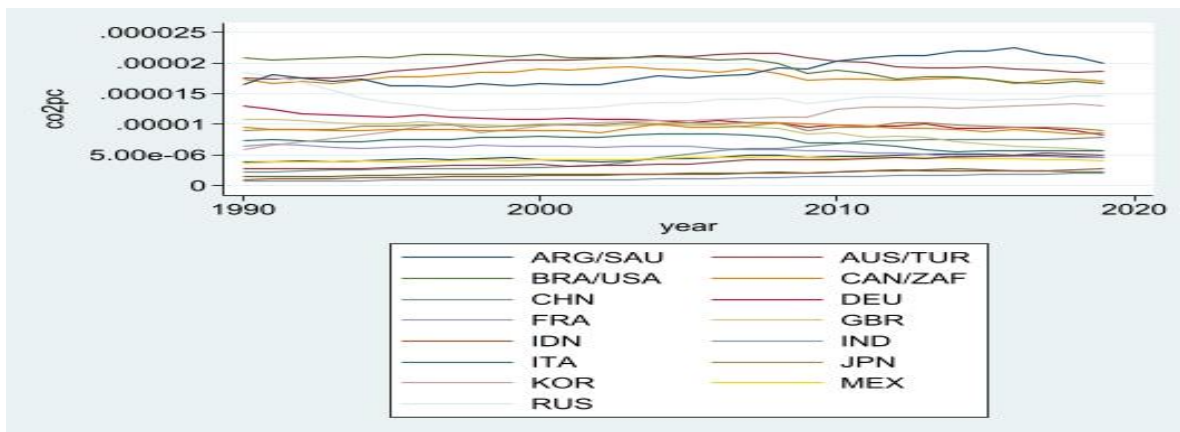


Figura 5-Emissões de Co2 em log

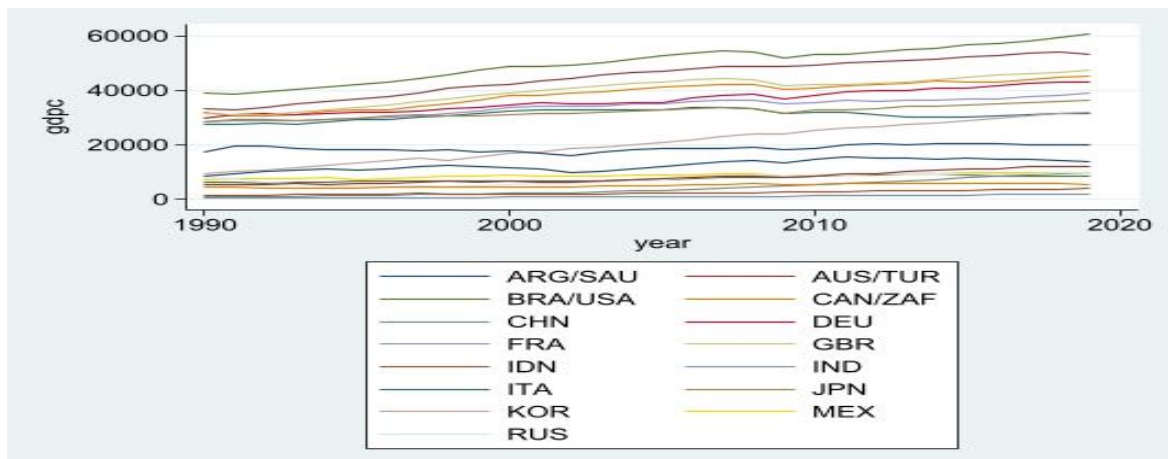


Figura 6 - Produto Interno Bruto em log

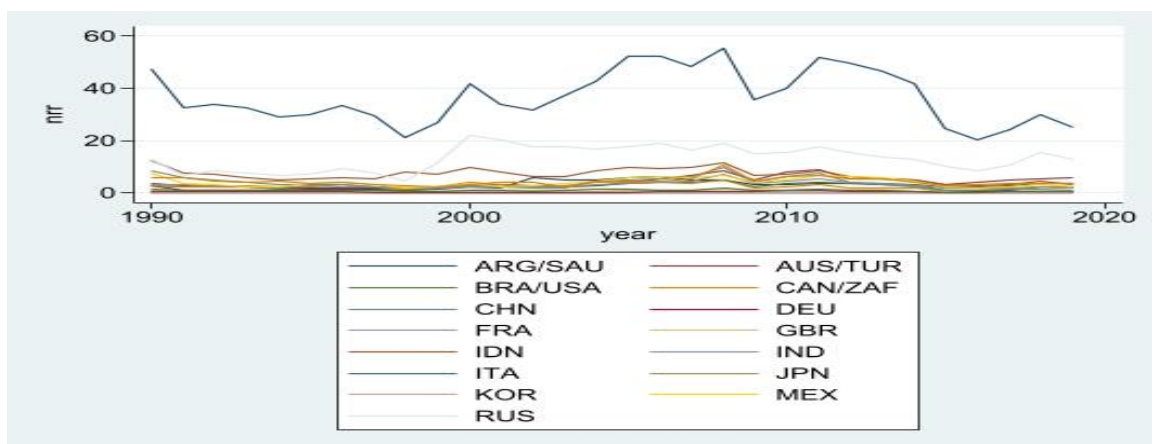


Figura 7 - Investimento em Recursos Naturais em log

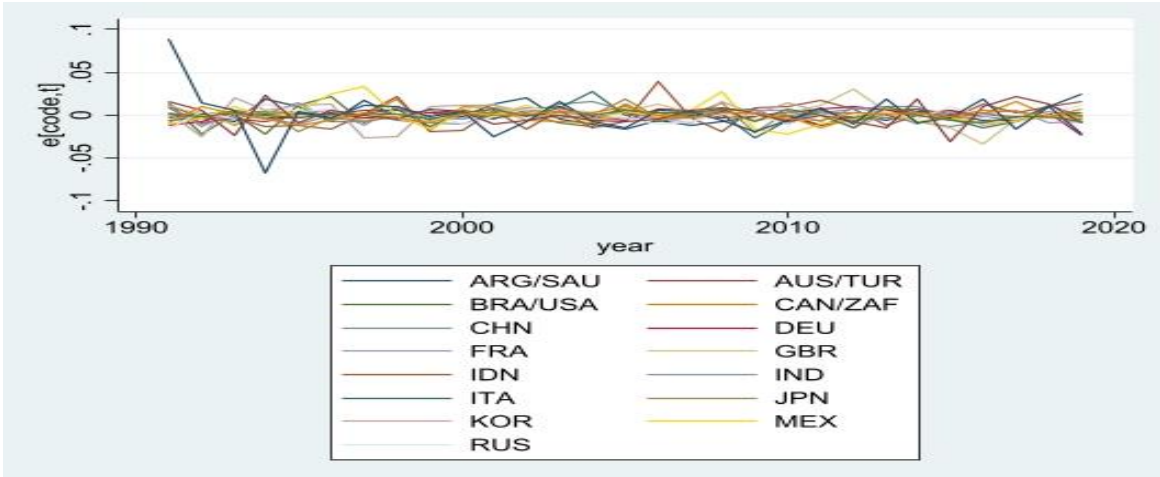


Figura 8-Residuo

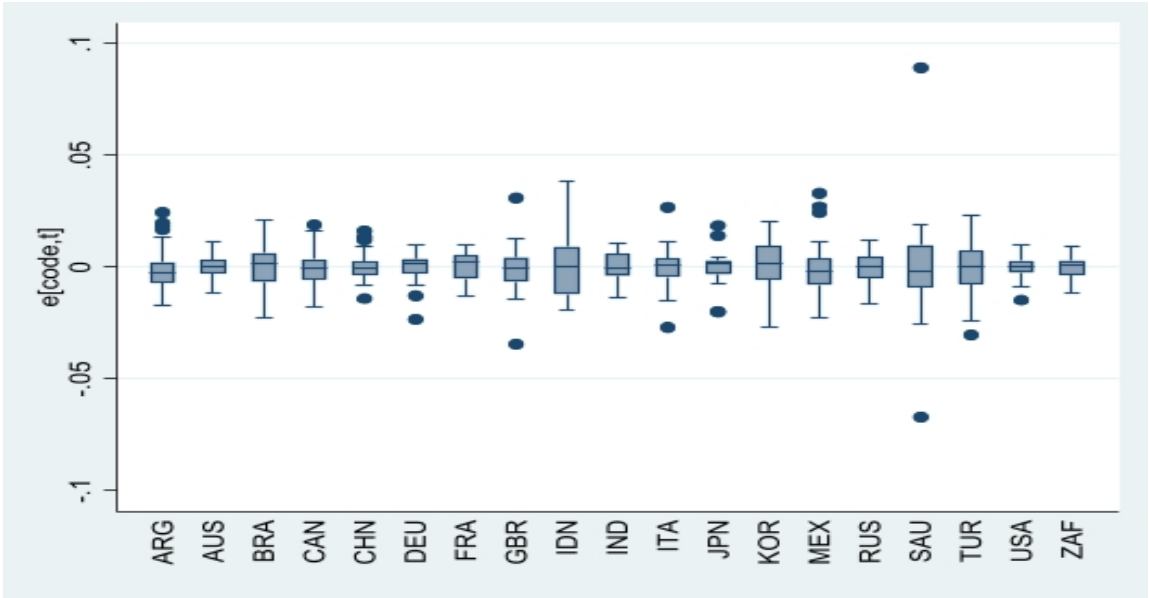


Figura 9-Box Plot (resíduos)