

MESTRADO
MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO

O CRESCIMENTO ECONÓMICO E AS EMISSÕES DE CO₂

PAULINE ROSADO

OUTUBRO 2019

MESTRADO EM
MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO

O CRESCIMENTO ECONÓMICO E AS
EMISSÕES DE CO₂

PAULINE ROSADO

ORIENTAÇÃO:

PROFESSORA DOUTORA GRAÇA LEÃO
PROFESSOR DOUTOR BRUNO DAMÁSIO

OUTUBRO 2019

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho não poderia ter sido feita sem o apoio e auxílio de muitas pessoas.

Agradeço à Professor Graça Leão e ao Professor Bruno Damásio que me deram conselhos inestimáveis, ajuda e orientação generosas e grande incentivo ao longo da elaboração deste trabalho

Agradeço a todos os docentes do ISEG que me ajudaram a adquirir o conhecimento para a elaboração desta tese de mestrado.

Agradeço ao professor Francisco Ferreira pela disponibilidade.

Agradeço à APREN pelo auxílio que me prestaram tão amavelmente.

Por fim, agradeço a todos que de uma maneira ou de outra me ajudaram na concretização deste trabalho e que não foram mencionados.

RESUMO

Em novembro de 1990, no primeiro relatório Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi reconhecido, pela primeira vez, que a combustão de energias fósseis tem consequências negativas sobre o ambiente (United Nations - framework). Desde essa data, a quantidade crescente de emissões de CO₂ está associada ao processo das alterações climáticas. A este, seguiram-se protocolos, convenções, relatórios, conferências das Nações Unidas e conferências das Partes (COP) para discussão e implementação de medidas para reduzir os níveis de CO₂ e assim limitar as consequências do processo de alterações climáticas. No entanto, as medidas acordadas são seguidas por vários anos de negociação (Ouharon, A. 2002), e 40 anos depois da primeira conferência climática em 1979, as emissões de CO₂ mundiais aumentaram de 85% (CO₂ emissions – World Bank) acompanhando o PIB mundial que passou de 9.965 a 79.297 trilhões de dólares (GDP per capita – World Bank). A resiliência dos Estados em implementarem as soluções discutidas no intuito de limitar as emissões de CO₂ e o aumento contínuo do PIB levou a questionar a existência de uma relação entre crescimento económico e emissões de CO₂.

Neste enquadramento, este trabalho tem como objetivo perceber se existem relações de longo prazo entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ num conjunto de países através da especificação de modelos ARDL (*Autoregressive Distributed Lag*). Perceber se essa relação existe é essencial para fundamentar as decisões governamentais. Desde políticas de eficiência energética, à exigência de transparência no desempenho das empresas, passando por políticas fiscais, a tomada de consciência da existência desta relação pode permitir a aplicação de políticas certas no momento certo. Tal como se verá adiante neste ensaio, os modelos que têm por objetivo explicar as relações de longo prazo entre crescimento económico e as emissões de CO₂ incluem, em geral, 5 variáveis julgadas essenciais para esta análise (ver, por exemplo, Kasman & Duman (2015); Hossain (2012); Farhani & Ozturk (2015): emissões de CO₂ per capita,

PIB per capita, o consumo de energia, a abertura comercial (em percentagem do PIB) e a população urbanizada (em percentagem da população total). Este trabalho abarca um horizonte temporal de 1971 a 2014 e tem em conta dados sobre 20 países¹ com níveis de rendimento diferentes. Os resultados indicam que dos 20 países, tanto desenvolvidos como em desenvolvimento, 14 apresentam uma relação de longo prazo entre o crescimento económico e as emissões de CO₂. Esta constatação permite concluir que é necessário e urgente que todos os países, desenvolvidos ou não, tenham uma agenda de políticas ambientais que promova a redução das emissões de CO₂, em paralelo com o crescimento das suas economias.

ABSTRACT

In November 1990, in the first Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report it was recognized for the first time that combustion of fossil fuels has negative consequences for the environment (United Nations - framework) Since then, the increasing amount of CO₂ emissions has been associated with climate change process. The following protocols, UN conferences and annual climate conferences have been discussing and implementing measures to reduce CO₂ levels and thus limit the impact on climate change. However, any achieved agreement are followed by several years of negotiation, and 40 years after the first climate conference in 1979, global CO₂ emissions increased by 85% (CO₂ emissions - World Bank) as the world GDP went from 9,965 to 79,297 trillion dollars (GDP per capita - World Bank).The countries' resilience to implement the solutions approved in the climate conferences in order to limit CO₂ emissions and the continued increase in GDP has raised the question about the relationship between economic growth and CO₂ emissions. In this context, this paper aims to understand if there are long-term relationships between economic growth and CO₂ emissions in a set of countries, by specifying an Autoregressive Distributed Lag model (ARDL). Understanding whether such a relationship exists is essential to ease government decisions. Acknowledge this relationship enables right policies to be applied at the right time be them energy efficiency policies, policies aiming at transparency of corporate performance or fiscal policies. Later in this essay, it will be seen that models aiming to explain long-term relationship between economic growth and CO₂ emissions often include 5 variables deemed essential (see, for example, Kasman & Duman (2015); Hossain (2012); Farhani & Ozturk (2015): per capita CO₂ emissions, Gross Domestic Product (*GDP*) per capita, energy consumption, trade openness (as a percentage of GDP) and population in urban areas (as a percentage of total population).This paper analyzes data between 1971 and 2014 and on 20 countries² with different income levels. The results show that 14 of the 20 countries, both developed

and developing, don't have a long term relationship between economic growth and CO₂ emissions. This finding allows to conclude that it is necessary and urgent that all countries, whether developed or not, have an environmental policy agenda that promotes the reduction of CO₂ emissions while assuring economic growth.

ÍNDICE

1. Introdução.....	11
2. Revisão da Literatura.....	13
3. Dados e análise de dados.....	18
4. Metodologia.....	22
4.1. O modelo ARDL.....	24
4.2. Teste de cointegração (<i>Bounds test</i>).....	26
4.3. Análise da especificação do modelo.....	27
4.3.1. Autocorrelação dos erros.....	27
4.3.2 Heterocedasticidade.....	28
4.3.3. Estabilidade do modelo.....	28
5. Evidência empírica.....	28
6. Conclusão.....	33
7. Referência bibliográfica.....	35
8. Anexos.....	39
Anexo 1. Teste ADF.....	39
Anexo 2. Teste <i>de causalidade à Granger</i>	40
Anexo 3. Modelo de Correção de Erros.....	43
Anexo 4. Teste de cointegração - (<i>Bounds test</i>).....	45
Anexo 5. Diagnóstico - Testes de Autocorrelação e Heterocedasticidade.....	46
Anexo 6. Teste de estabilidade – <i>cusum</i>	47

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1. Evolução decrescente das emissões de CO ₂ com evolução crescente do PIB per capita e do consumo de energia.....	21
--	----

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1. Análise descritiva dos dados.....	19
Tabela 2. Conclusões dos <i>bounds</i> <i>tests</i>	29

ABREVIACÕES

ADF – Augmented Dickey Fuller

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APREN – Associação portuguesa de energias renováveis

ARDL – Autoregressive Distributed Lag

COP – Conference of the Parties

CO₂ -Dióxido de Carbono

EKC – Environmental Kuznets Curve

EUA – Estados Unidos da América

GDP – Gross Domestic Product

IPPC – International Plant Protection Convention

MENA – Middle East and North Africa

PIB – Produto Interior Bruto

SGI – Sustainable Governance Indicators

VAR – Vector Autoregressive

1. INTRODUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável foi usado pela primeira vez, na Europa, em 1712 numa obra escrita por Hannss Carl Von Carlowitz, cientista e guarda florestal (Heinberg, 2016). Mais de dois séculos depois, em 1987, o termo tornou-se conhecido, na conferência de Brundtland, que definiu o desenvolvimento sustentável como o *desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades* (Brundtland, 1987).

O uso de combustíveis fósseis, com origem na revolução industrial e continuado desde então, levou ao aquecimento global que tem como consequências alterações climáticas com repercussões na vida do planeta Terra. Efetivamente, estima-se que a combustão de combustíveis fósseis é responsável por 70% das concentrações de CO₂ (Pollin, 2015). Adicionalmente, o IPCC alerta para que a temperatura global não ultrapasse os dois graus Celcius, sendo que 2 graus Celcius equivalem equivalentes a 450 ppm. A título de ilustração da situação atual, em dezembro de 2018, registou-se um nível de 407 ppm de CO₂ contra 320 ppm em 1960 (Carvalho, 2016).

Existem duas opções principais em discussão com vista à resolução do problema das alterações climáticas com que a sociedade ocidental se depara, *De-growth vs A Green New Deal* (Pollin, 2015), ambas baseadas no conceito de energias renováveis, recursos naturais capazes de se regenerarem num curto espaço de tempo e de um modo sustentável (APREN – Associação Portuguesa das Energias Renováveis). A segunda – *Green New Deal* - privilegia a realocação dos recursos energéticos de cada país, enquanto que a primeira – *De Growth* - vai mais fundo e visa uma mudança de objetivos da sociedade como um todo.

O *Green New Deal*, tem entre as suas propostas a dedicação de 1,5% a 2% do PIB de cada país à implementação das energias renováveis. A premissa é manter o funcionamento da sociedade baseada no crescimento económico, mas de uma forma sustentável (Pollin, 2015).

O *Degrowth* visa a criação de uma *steady-state economy* (Daly, 1977) opondo-se ao sistema de crescimento incessante, qualificado como irresponsável, injusto, pouco económico e ecologicamente insustentável (Jackson, 2009).

Efetivamente, e a título de exemplo, registou-se um forte aumento contínuo das emissões de CO₂ no período de alto crescimento económico do século 20, “Os Trinta Gloriosos” (Jancovici, 2006). Por oposição, foi registada uma diminuição espontânea das emissões de CO₂ no início dos anos 30, em pleno contexto da Grande Depressão, assim como durante os dois choques petrolíferos, 1974 e 1979, e na primeira guerra do Golfo em 1990. Além disso, uma simulação efetuada pelo Observatório da energia em França, revelou que um crescimento anual do PIB de 2%, podia levar a um aumento de 50% das emissões de CO₂ entre 1990 e 2020 (Jancovici, 2006).

Neste contexto de crescimento económico e de aumento das emissões de CO₂, em 1979 teve lugar a primeira conferência mundial sobre o clima, a conferência de Genebra, em que as alterações climáticas foram reconhecidas como um verdadeiro problema. Esta conferência gerou o primeiro programa do clima mundial ao qual se seguiram várias conferências climáticas. Em 1988 foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) pela iniciativa do Programa das Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial de maneira a agilizar os processos de tomada de decisão. Efetivamente, graças a avaliações científicas sobre mudanças climáticas, suas implicações e possíveis riscos futuros, era facilitada a criação de leis assim como a apresentação de opções de adaptação e mitigação. Em novembro de 1990, no primeiro relatório do IPCC, foi reconhecido, pela primeira vez, que as emissões de CO₂, resultado principal da combustão de energia fóssil, podem ter um impacto negativo sobre o ambiente no longo prazo

Dois anos depois, durante a conferência do Rio de Janeiro em 1992, tentou-se pela primeira vez identificar soluções para travar as alterações climáticas limitando as emissões de CO₂. Só no final da década em 1997 foi assinado o protocolo de Kyoto no qual foi acordado que os países desenvolvidos diminuíssem as suas emissões de CO₂ com uma meta própria baseada no ano 1990. Isto é, cada uma das metas criadas sob o

ano base como uma percentagem é convertida numa quantidade de direito de emissões de CO₂ (Protocolo de Kyoto).

Em 2001, a decisão dos Estados Unidos da América de não ratificar o acordo justificado pelo ceticismo das mudanças climáticas e pelo impacto negativo na economia que poderiam ter as medidas acordadas, veio enfraquecer o Protocolo (Ouharon, A. 2002). Por fim, em 2015, o ano mais quente desde o século 19, teve lugar a COP 21 que resultou num acordo universal assinado por 195 países. No entanto, já em 2018 somente 16 países ainda respeitavam o acordo (Euractiv, 2018).

Neste enquadramento, e tendo em conta a opinião dos autores elencados este trabalho tem como objetivo perceber se existem relações de longo prazo entre as emissões de CO₂ de um país e o seu desenvolvimento económico num conjunto vasto de países. Para tal, procedeu-se à especificação de modelos ARDL que incluem variáveis julgadas essenciais para esta análise - (ver, por exemplo, Kasman & Duman (2015); Hossain (2012); Farhani & Ozturk (2015) - o PIB per capita (a preços constantes), as emissões de CO₂ per capita (em toneladas métricas), o consumo de energia (em kilos de petróleo equivalente per capita), a abertura comercial (em % do PIB) e a população urbana (em % da população total). Para tentar melhor compreender a situação, o estudo é efetuado usando dados de 20 países de todos os continentes, com níveis de rendimentos, de emissões de CO₂, tamanho e população diferentes.

O trabalho é dividido em 5 partes. Começa-se, no ponto 2 por uma revisão de literatura sobre o tema em estudo, seguindo-se no ponto 3 a análise de dados e no ponto 4 a apresentação da metodologia usada. Por fim, nos pontos 5 e 6 são apresentados os resultados e são discutidas as conclusões e as respetivas recomendações políticas.

2. Revisão da literatura

Simon Kuznets ganhou o prémio nobel pela teoria que desenvolveu sobre a relação entre o crescimento económico e as desigualdades.

O pensamento de Kuznets assenta na teoria de que as desigualdades sociais são crescentes nos primeiros estágios do crescimento económico até um ponto de inflexão

a partir do qual as desigualdades apresentam uma tendência decrescente com o crescimento económico [Kuznets (1955)]. Esta relação entre o crescimento económico e as desigualdades forma uma curva em U invertida, conhecida como “A curva de Kuznets”. Grossman & Krueger (1991), Shafik & Bandyopadhyay (1992) e Panayotou (1993) entre outros, provaram que a mesma relação existe entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ (Ginevicius *et al.* 2016). Tal significa que as emissões de CO₂ crescem nos primeiros estágios do crescimento económico tendendo a diminuir à medida que o crescimento económico se mantém, dando origem à “Curva Ambiental de Kuznets” (EKC – *Environmental Kuznets Curve*) que se tornou uma referência nos estudos e nas análises conduzidas. Segundo Kaika & Zervas (2013), este conceito da EKC levou os especialistas a afirmarem no início dos anos 90, que os governos devem concentrar-se no crescimento económico para eliminar os problemas ambientais. Neste sentido, dezenas de estudos foram desenvolvidos para perceber o verdadeiro impacto do crescimento económico sobre as emissões de CO₂, tendo como principais variáveis o PIB, o consumo de energia, a abertura comercial e o grau de urbanização. É o caso de Govindaraju & Tang (2013), de Pao & Tsai (2010) ou ainda de Ozturk & Acaravci (2010) que desenvolveram esse estudo para a China e Índia, para os países do BRIC e para a Turquia respetivamente. A nível global, os resultados das dezenas de estudos efetuados conduziram a diferentes conclusões consoante os países analisados e o espaço de tempo estudado, sendo que alguns apresentam uma relação unidirecional entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico (Govindaraju & Tang, 2013) - entre o consumo de energia e o crescimento económico no Paquistão (Aqueel & Sabihuddin, 2001) - ou ainda uma relação bidirecional entre as emissões de CO₂ e a urbanização e o consumo de energia para os países do MENA (Middle East and North African countries) (Al Mulali *et al.* 2013). Apresentam-se de seguida alguns desses estudos e respetivos resultados. Começando a nível global, convergindo de seguida para a Europa e Estados Unidos, passando pelo continente Asiático e Médio Oriente para finalmente terminar no continente Africano, averigua-se se as conclusões retiradas variam consoante não só o

nível de desenvolvimento dos países, mas também as políticas implementadas por cada país.

Wang *et al*, (2018) analisam a existência de uma relação de longo prazo entre a urbanização, o crescimento económico, o consumo de energia e as emissões de CO₂ em 170 países. Os resultados mostram que existe uma relação de cointegração entre todas as variáveis elencadas e que, nos países desenvolvidos existe uma relação de causalidade de longo prazo unidirecional entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico.

A nível global, um segundo estudo conduzido por Chen *et al*, (2016) em 188 países tem por objetivo modelar a relação global entre o crescimento económico, o consumo de energia e as emissões de CO₂. As conclusões mostram, à semelhança do estudo anterior, que existe uma relação de longo prazo entre o crescimento económico, o consumo de energia e as emissões de CO₂ em todos os países analisados. Os autores concluem ainda que existe uma relação de causalidade unidirecional entre o consumo de energia e as emissões de CO₂, tanto nos países em desenvolvimento como nos desenvolvidos. Por fim, um terceiro estudo desenvolvido por Narayan *et al*. (2016) e com base em informação de 181 países permite confirmar que em 49 deles, o aumento do rendimento leva a diminuições das emissões de CO₂.

A nível europeu, Acaravci & Ozturk (2010) procuram estudar a relação entre o consumo de energia, as emissões de CO₂ e o crescimento económico em 19 países da União Europeia de 1981 a 1995, especificando modelos ARDL para cada país e efetuando os *bounds tests*, para testar a cointegração. O estudo permitiu concluir que existe uma relação de longo prazo positiva entre as emissões de CO₂ e o consumo de energia com um nível de significância a 1% na Dinamarca, Alemanha, Grécia Itália e Portugal e é confirmada a hipótese da EKC para a Dinamarca e Itália.

Ainda na esfera europeia, Kasman & Duman (2015) estudam esta mesma questão para os países candidatos e membros recentes da União Europeia entre 1992 e 2010. Os resultados permitem identificar três relações de causalidade de curto prazo unilateral

do consumo de energia, da abertura comercial e da urbanização sobre as emissões de CO₂; do PIB sobre o consumo de energia; do PIB, do consumo de energia e da urbanização sobre a abertura comercial e por fim, da urbanização sobre o PIB.

Os Estados Unidos, enquanto país com o maior nível de PIB per capita e o segundo maior emissor de CO₂ no mundo, foi alvo de múltiplas análises. O estudo de Dogan & Turkekul (2015) conclui que as emissões de CO₂, o PIB e o consumo de energia são variáveis cointegradas, isto é, existe uma relação de longo prazo entre as variáveis. Os autores demonstram igualmente que no longo prazo, o consumo de energia e a urbanização aumentam a degradação ambiental. Os resultados de *causalidade à Granger* indicam uma relação bidirecional entre as emissões de CO₂ e o PIB; entre as emissões de CO₂ e o consumo de energia e entre as emissões de CO₂ e a urbanização. Por fim, os autores deste artigo apelam para a urgência e importância de impor medidas para reduzir as emissões de CO₂. Mais, apontam que a implementação de regulações para diminuir a degradação ambiental não tem qualquer impacto negativo no PIB per capita.

No continente asiático, Xu & Lin (2015) e Saboori *et al.*, (2012) confirmam a hipótese da EKC na China e na Malásia respetivamente. Os resultados deste estudo sugerem uma relação de longo prazo entre as emissões de CO₂ per capita e o PIB per capita. Os testes de *causalidade à Granger* sugerem uma ausência de causalidade entre emissões de CO₂ e crescimento económico no curto prazo e uma relação de causalidade unidirecional entre as duas variáveis elencadas no longo prazo.

Os países exportadores de petróleo também suscitam interesse pelo que Salahuddin, M. *et al.* (2015) conduziram um estudo focado nos países do golfe Pérsico. Apesar de não se confirmar uma relação significativa entre crescimento económico e emissões de CO₂, os resultados indicam uma associação significativa e positiva entre o consumo de energia e as emissões de CO₂ e entre o consumo de energia e o crescimento económico. Os testes de *causalidade à Granger* permitem concluir que existe uma relação bidirecional entre o consumo de energia e as emissões de CO₂ e uma relação

unidirecional entre o crescimento económico e o consumo de energia. Do mesmo modo, Al-Mulali *et al*, (2013) estudaram a relação entre emissões de CO₂, o PIB e o consumo de energia nos países MENA entre 1980 e 2009. Os resultados dos testes de cointegração mostram que a urbanização, o consumo de energia e as emissões de CO₂ são cointegrados. Foi igualmente confirmada uma relação de longo prazo positiva bidirecional entre as 3 variáveis elencadas. Os resultados permitiram aos autores concluir sobre a urgência, nestes países de abrandar o ritmo de urbanização para diminuir o consumo de energia e consequentemente as emissões de CO₂.

Por fim, a Africa Central e Africa do Sul foram objetos de análises da relação entre o crescimento económico e as emissões de CO₂. Esso & Keho (2016) concentraram esse estudo em 12 países da Africa Subsaariana. Os resultados mostram uma relação de *causalidade à Granger* uni-direcional entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ na maior parte dos países. É igualmente confirmada uma relação de causalidade bidirecional entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico no Gabão, na Nigéria e no Togo. Um segundo estudo desenvolvido por Al-Mulali & Sab (2012) em todos os países de Africa Subsaariana levou às mesmas conclusões, implicando uma difícil expansão económica sem consequências negativas sobre o ambiente.

Em resumo, os vários estudos elencados permitem concluir que, em quase todos os países, o crescimento económico implica, a dado momento, um aumento das emissões de CO₂. No entanto, os resultados não permitem afirmar que quanto maior é o nível de crescimento económico de um país, maiores são as quantidades emitidas de CO₂. Significa isso que existem outros fatores associados ao crescimento económico que alteram o nível de emissões de CO₂, entre eles a implementação de medidas políticas a favor de energias renováveis. No entanto, e apesar de não se provar a relação direta entre maior crescimento económico e maior quantidade emitida de CO₂, muitos dos autores dos estudos mencionados apelam para a urgência dos Estados implementarem medidas ecológicas no sentido de diminuir as emissões de CO₂.

3. Análise de dados

Para efetuar a análise pretendida foram escolhidos 20 países do mundo inteiro com níveis de desenvolvimento e de densidade populacional diferentes assim como tipos de indústrias diferentes. Dentro da amostra dos 20 países, destacam-se 10 que fazem parte da Europa, 6 do continente asiático, 3 da América e 1 do continente africano. A escolha de vários países da União Europeia justifica-se pelo facto de serem países desenvolvidos que dependem de legislações ambientais comuns. Neste sentido, achou-se interessante analisar o progresso desses países e averiguar assim se existem evoluções semelhantes entre eles. A escolha dos países do continente asiático justifica-se pelo facto de serem países em desenvolvimento, cujas economias repousam essencialmente sobre o setor industrial e cujos níveis de densidade populacional são elevados. Neste sentido, achou-se interessante averiguar se existe uma relação entre países em desenvolvimento e emissões de CO₂ no longo prazo. Por fim, nos restantes países da amostra, destaca-se um país desenvolvido e três em desenvolvimento. A escolha dos países foi, portanto, feita tendo em conta os seus níveis de desenvolvimento, mas também os setores económicos de cada país, para poder assim averiguar a existência de relações de cointegração entre crescimento económico e emissões de CO₂.

Para a especificação e estimação dos modelos ARDL são consideradas 5 variáveis: emissões de CO₂ (toneladas métricas per capita), PIB per capita (a preços constantes em dólares americanos), consumo de energia (equivalente em kg de petróleo per capita), abertura comercial (em percentagem do PIB) e a população urbanizada (em percentagem da população total). A escolha destas variáveis foi feita tomando como referência artigos com o mesmo objeto de análise. É o caso por exemplo de Kasman & Duman (2015), de Hossain (2012) ou ainda de Farhani & Ozturk (2015). Trata-se de variáveis anuais que abrangem um horizonte temporal de 43 anos, de 1971 a 2014. Os dados provêm da base de dados do Banco Mundial⁴, frequentemente usada para o tipo

de análise em questão, em todos os estudos referidos na revisão da literatura. A análise descritiva dos dados, apresenta-se na tabela seguinte.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados

País		CO2 pc	PIB pc	Consumo energia	Abert. Comer.	Pop. Urbana
Africa do Sul	Média	8,65	3571,4	2486,78	52,15	54,1
	Mínimo	7,20 (1974)	897,15	1984,18	37,49	47,87
	Máximo	9,98 (2009)	8007,41	2950,15	72,87	64,31
Áustria	Média	7,66	23884,44	3363,76	79,96	61,94
	Mínimo	6,87 (2014)	2380,98	2508,52	56,6	57,12
	Máximo	9,02 (2005)	51717,5	4085,57	105,5	65,39
Bélgica	Média	11,19	22925,29	4978,91	122,82	96,35
	Mínimo	8,32 (2014)	3099,43	4099,96	84,58	93,976
	Máximo	14,25 (1973)	48424,58	5669,36	164,70	97,833
Brasil	Média	1,66	4179,91	1037,63	20,27	74,19
	Mínimo	1,05 (1971)	504,75	715,84	14,39	56,894
	Máximo	2,61 (2014)	13245,62	1495,54	29,68	85,492
China	Média	3,04	1377,17	986,58	31,02	31,05
	Mínimo	1,04 (1971)	118,65	464,93	4,92	17,18
	Máximo	7,56 (2013)	7651,37	2236,73	64,48	54,26
Espanha	Média	5,92	14571,08	2325,35	43,4	74,79
	Mínimo	3,76 (1971)	1358,47	1244,9	25,93	66,85
	Máximo	8,10 (2005)	35579,31	3251,4	63	79,37
EUA	Média	19,48	27702,15	7680,57	21,2	76,85
	Mínimo	16,31 (2012)	5609,38	6872,1	10,76	73,61
	Máximo	22,51 (1973)	55032,96	8438,4	30,79	81,48
França	Média	6,86	22072,14	3765,36	46,78	75,05
	Mínimo	4,57 (2014)	3169,03	3027,82	32,01	71,46
	Máximo	9,71 (1973)	45334,11	4301,74	60,48	79,39
India	Média	0,82	515,08	384,96	24,83	26,1
	Mínimo	0,36 (1971)	118,6	267,31	7,67	19,99
	Máximo	1,73 (2014)	1573,88	636,57	55,79	32,38
Indonésia	Média	1,10	1058,18	578,47	52,26	34,08
	Mínimo	0,33 (1971)	79,18	297,31	31,06	17,338
	Máximo	2,56 (2012)	3694,35	883,92	96,19	52,635
Islândia	Média	7,34	27417,88	9576,67	74,16	90,62
	Mínimo	5,61 (2012)	3256,99	4378,31	59,79	85,27
	Máximo	8,80 (1979)	69054,27	18178,14	104,27	93,67
Japão	Média	8,76	25649,40	3449,93	23,32	80,12
	Mínimo	7,41 (1983)	2272,08	2531,09	16,01	72,666
	Máximo	9,90 (2004)	48603,48	4083,83	37,55	91,304

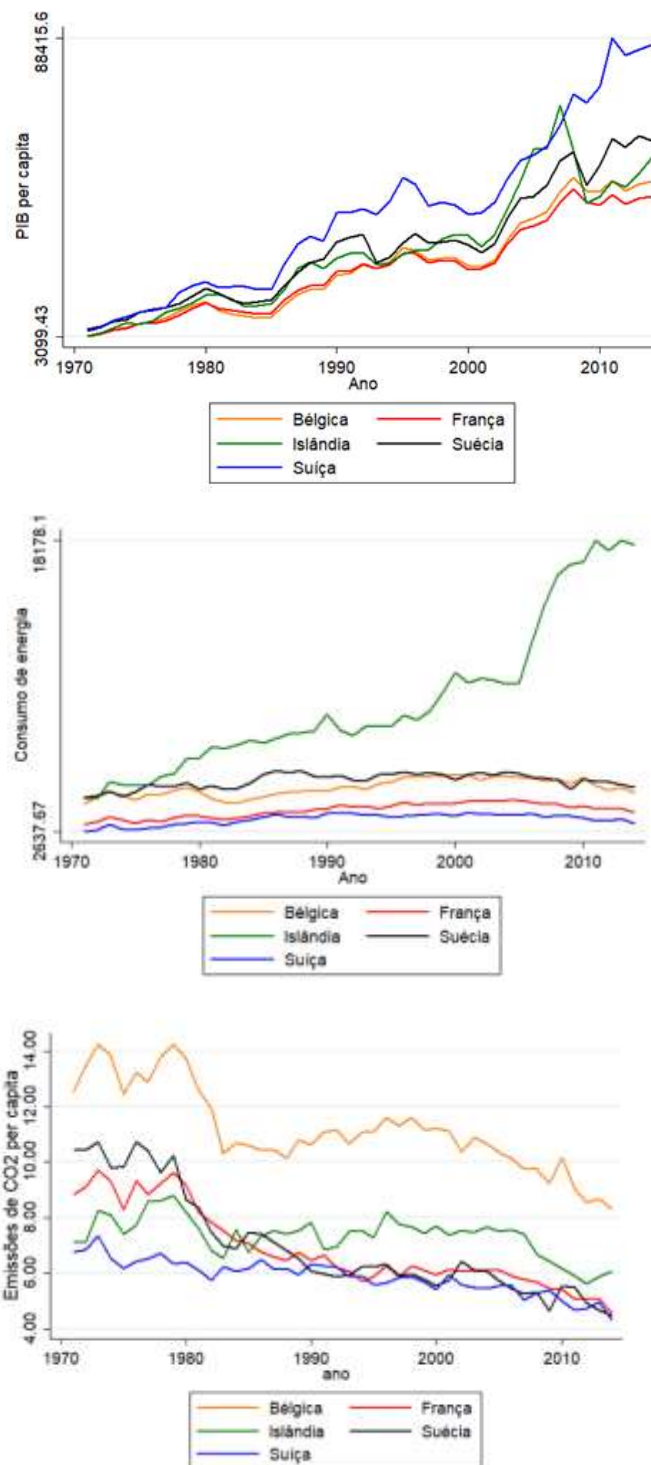
Tabela 1. Estatística descritiva dos dados (continuação)

Luxemburgo	Média	25,42	46826,68	8924,33	224,65	82,58
	Mínimo	17,32 (1998)	4591,75	6861,11	151,65	74,916
	Máximo	40,58 (1973)	118823,65	13023,89	392,80	89,884
Malásia	Média	4,33	220,92	1609,6	146	53,8
	Mínimo	1,51 (1971)	75,66	523,58	73,67	34,27
	Máximo	8,13 (2014)	534,95	3003,46	220,41	73,58
México	Média	3,8	4948,76	1414,81	39,38	71,26
	Mínimo	2,38 (1971)	738,56	809,64	16,36	59,78
	Máximo	4,46 (2008)	10922,38	1698,59	65,77	78,99
Países baixos	Média	11,02	25529,14	4582,69	110,3	73,13
	Mínimo	9,38 (1982)	3378,61	3785,12	82,69	61,91
	Máximo	13,38 (1979)	57644,48	5085,89	150,05	89,69
Portugal	Média	4,14	10284,24	1670,32	59,63	50,14
	Mínimo	1,89 (1971)	1064,64	726,05	37,71	39,2
	Máximo	6,41 (2002)	24815,61	2519	79,96	62,94
Suécia	Média	6,99	28522	5336,14	67,81	83,68
	Mínimo	4,48 (2014)	5066	4450,38	43,34	81,56
	Máximo	10,74 (1976)	60347,69	5878,8	93,25	86,25
Suíça	Média	5,88	38221,93	3300,18	92,86	73,87
	Mínimo	4,31 (2014)	4694,72	2637,67	75,32	73,38
	Máximo	7,33 (1973)	88415,63	3673,29	131,8	74,48
Tailândia	Média	2,20	2101,80	958,05	84,61	31,63
	Mínimo	0,50 (1971)	194,27	360,59	34,80	21,44
	Máximo	4,62 (2014)	6168,26	1991,59	140,44	46,94

Com base no mínimo e no máximo registado para as emissões de CO₂, observa-se que alguns dos países com PIB per capita mais alto emitem, nos anos mais recentes, menos emissões de CO₂ do que na primeira década do horizonte temporal considerado. É o caso do Canadá, dos Estados Unidos da América, da França, da Islândia, da Suécia e da Suíça.

O horizonte temporal abarca um período em que as variáveis selecionadas seguem uma evolução crescente em todos os países, à exceção das emissões de CO₂ para alguns países. É o caso da Bélgica, da França, da Islândia, da Suécia e da Suíça em que se regista uma evolução decrescente das emissões de CO₂ compatível com uma evolução crescente do PIB per capita e do consumo de energia. (Figura 1).

Figura 1. Evolução decrescente das emissões de CO₂ com evolução crescente do PIB per capita



4. Metodologia

Tendo em conta o objetivo do trabalho, a escolha da metodologia a implementar foi feita entre um modelo VAR e um modelo ARDL.

No modelo VAR (Vector Autoregressive Model), existem tantas equações quanto o número de variáveis explicativas. Isto é, cada variável é representada por uma equação que explica a sua evolução com base no desfasamento da própria variável e das outras variáveis explicativas. Assim, num modelo VAR, é criado um sistema de equações interdependentes entre elas. Num modelo ARDL, a variável dependente é diretamente explicada por diferentes variáveis, isto é, existe somente uma equação com uma variável dependente explicada pelos desfasamentos da própria variável e das variáveis explicativas.

O objetivo do trabalho é averiguar se o crescimento económico causa as emissões de CO₂. Efetivamente, não se pretende saber se as emissões de CO₂ causam crescimento económico, mas sim se a variável emissões de CO₂ é explicada pelas variáveis referidas anteriormente (PIB per capita, consumo de energia, abertura comercial e urbanização). Assim, definiu-se uma equação, em que as emissões de CO₂ constituem a variável dependente, explicada pelo seu próprio desfasamento e pelo valor presente e desfasado das variáveis explicativas. Desta forma, e tendo em conta o objetivo preciso do trabalho, a escolha tende para o modelo ARDL.

Adicionalmente, a escolha da metodologia depende igualmente da ordem de integração das variáveis do modelo. O modelo VAR requer que todas as variáveis sejam estacionárias em covariância enquanto que o modelo ARDL permite uma combinação de variáveis estacionárias e não estacionárias em nível, isto é, uma combinação de variáveis integradas de ordem 0 e de ordem 1. Para averiguar a estacionariedade das séries, foram efetuados testes de presença de raiz unitária.

O teste ADF (Augmented Dickey Fuller) é comumente utilizado para testar a presença de raiz unitária na representação autorregressiva de um processo. O teste ADF ajusta um modelo da forma:

$$y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta y_{t-i} + e_t \quad (1)$$

Testando então

Ho: $\alpha = 1$, existe raiz unitária – processo não estacionário

H1: $\alpha < 1$, não existe raiz unitária – processo estacionário

No entanto, ao obter a primeira diferenciação de y_t , torna-se mais fácil o cálculo da estatística t.

$$\Delta y_t = \mu + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta y_{t-i} + e_t \quad (2)$$

em que $\delta = \alpha - 1$

Testando assim

Ho: $\delta = 1$, existe raiz unitária – processo não estacionário

H1: $\delta < 1$, não existe raiz unitária – processo estacionário

Um *valor – p* inferior a 5% rejeita a hipótese nula de não estacionariedade.

Os resultados dos testes são apresentados no anexo 1.

Por fim, foram efetuados os testes de *causalidade à Granger* para perceber se as emissões de CO2 ajudam a prever o crescimento económico de um país.

Efetivamente, através do teste de *causalidade à Granger* determina-se a direção da relação de causalidade entre as variáveis. Isto é, se X causa Y ou vice-versa.

Assim, se X causa Y , os valores passados de X_{t-i} ajudam a prever o valor de Y_t , isto é:

$$y_t = \alpha + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \dots + \delta_1 x_{t-1} + \delta_2 x_{t-2} + \dots + \varepsilon_t \quad (13)$$

Testando então:

$H_0: \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_p = 0$, não existe *causalidade à Granger*

$H_1: \delta_j \neq 0$, existe causalidade à Granger

Se o valor $-p$ for inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula de causalidade.

Para efetuar o teste de *causalidade à Granger*, é necessário criar um modelo VAR (*Vector Autoregressions*), uma vez selecionado o número ótimo de defasamentos, tendo em conta os critérios de ajustamento.

O teste de causalidade à *Granger* pode ser efetuado com base, pelo menos, em três metodologias. A primeira consiste em diferenciar as variáveis de maneira a captar o curto prazo. A segunda consiste em integrar as variáveis em níveis de maneira a captar o longo prazo. Por fim, a terceira metodologia foi apresentada por Toda, H. & Yamamoto, T. (1995)⁴. Esta metodologia consiste na inclusão a ordem máxima de integração das variáveis e o número ótimo de defasamento. Por uma questão de robustez, o teste foi efetuado com base nas três metodologias, tendo obtido resultados sensivelmente semelhantes.

Os resultados mostram que em 83,3% dos casos, as emissões de CO2 não causam o crescimento económico, reforçando assim a especificação de uma única equação, e da escolha do modelo ARDL. Os resultados dos testes de causalidade à Granger são apresentados no anexo 2.

Assim, e tendo em conta o objetivo do trabalho anteriormente mencionado, os resultados dos testes ADF e os resultados dos testes de causalidade à Granger, optou-se pelo modelo ARDL que se utilizou para a realização de testes à existência de relações de cointegração e estimou-se um modelo de correção de erros (ECM).

Apesar da literatura referir que a especificação de um modelo ARDL requer que a ordem de integração, determinada a partir do teste ADF, das variáveis não seja superior a 1, a variável da população urbana de vários países, é integrada de ordem 2. Para contornar esta situação, a variável foi diferenciada para a especificação do modelo Autoregressive Distributed Lag (ARDL), ver Hossain (2012).

4.1. O modelo ARDL

Um modelo ARDL (*Autoregressive Distributed Lag*) é composto por uma única equação que inclui os desfasamentos tanto da variável dependente como das variáveis explicativas. Trata-se de um modelo utilizado para modelar as relações de longo prazo entre variáveis a partir dos *bounds tests*.

A versão do modelo ARDL inicialmente apresentada por Engle & Granger (1987) e Johansen & Juselius (1990) tinha como desvantagem a necessidade de as variáveis terem de ter todas a mesma ordem de integração. No entanto, esta limitação metodológica foi superada pelo modelo apresentado por Pesaran & Shin (1998), baseado no estimador OLS, ao possibilitar uma combinação de variáveis integradas de ordem 0 e de ordem 1 na mesma regressão e ao autorizar desfasamentos diferentes entre as variáveis da regressão. Esta versão do modelo requer que a variável dependente seja integrada de ordem 1 e que a ordem de integração das restantes variáveis não seja superior a 1.

A estimação do modelo ARDL implica a estimação do número de desfasamentos de cada variável que deverá ser incluído no modelo. Para tal, são usados os critérios Akaike Information Criterio (AIC), Schwarz Criterion (SC), Hannan-Quinn Criterion (HQ) ou o R quadrado ajustado.

Um modelo ARDL(p,q) é especificado da seguinte forma:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta'_i x_{t-i} + \epsilon_t, \quad \epsilon_t \sim iid(0, \sigma^2) \quad (3)$$

em que x é um vetor e q é o máximo das ordens dos desfasamentos dos elementos desse vetor.

Tendo a seguinte representação em MCE:

$$\Delta y_t = \delta [y_{t-1} - \lambda x_{t-1}] + \sum_{i=1}^{p-1} \delta_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} \gamma'_i \Delta x_{t-i} + \epsilon_t \quad (4)$$

Apresentando assim a solução de equilíbrio de longo prazo (no caso do modelo ser estável):

$$y^* = \lambda' x^* = \lambda_1 x_1^* + \lambda_2 x_2^* + \dots + \lambda_k x_k^*$$

A noção de cointegração foi formalizada por Granger (1981), Engle & Granger (1987) e Johansen & Julius (1990). Duas variáveis são cointegradas se a combinação linear dessas variáveis tiver uma ordem de integração menor. Ou seja, se existe $\{x_t\}$ e $\{y_t\}$, dois processos integrados de ordem 1, então, $y_t - \beta_x$ é um processo I(1) para qualquer valor de β . No entanto, é possível que para alguns valores de β diferente de 0, $y_t - \beta_x$ seja um processo I(0). Desta forma, significa que o processo tem média e variância constante e que a sua autocorrelação depende apenas da distância temporal entre duas variáveis. Se tal β existir, pode-se afirmar que y e x são cointegradas, sendo que β é o parâmetro de cointegração.

Se duas variáveis são cointegradas, conclui-se pela existência de uma relação de longo prazo. Para o caso específico deste trabalho, existem k variáveis I(1), trata-se de um modelo multivariado.

4.2. Bounds tests

Existem vários métodos para testar a existência de uma relação de cointegração. Neste trabalho é utilizada a abordagem dos *bounds test* apresentada por Pesaran & Shin (1998) e Pesaran *et al.* (2001), uma vez que apresenta vantagens relativamente a outros testes de cointegração. Permite evitar problemas de endogeneidade e possibilita a estimação de parâmetros de curto e de longo prazo em simultâneo.

Possibilita também uma combinação de variáveis integradas de ordem 0 ou de ordem 1, ao contrário da versão do modelo apresentada por Engle & Granger (1987) e Johansen & Juselius (1990). Note-se que esta versão do modelo requer, todavia, que a variável dependente seja integrada de ordem 1 e que a ordem de integração das restantes variáveis não seja superior a 1.

A metodologia é constituída por 3 etapas. A primeira consiste em decidir sobre a inclusão das componentes deterministas do modelo e obter o número de defasamentos p e q com base nos modelos de seleção de critério mencionados anteriormente. De seguida, estima-se o modelo ARDL pelo estimador OLS. Numa terceira etapa, calcula-se a estatística F para o ensaio com $H_0^F(\alpha = 0) \cap (\sum_{j=0}^q \beta_j = 0)$ e compara-se com os valores críticos. A distribuição assintótica da estatística F é não standard sob a hipótese nula de não cointegração. Dois tipos de valores críticos são dados, o primeiro que deve ser usado se todas as variáveis são integradas de ordem 0 e o segundo que deve ser usado se todas as variáveis são de ordem $I(1)$. Se a estatística F exceder o limite superior, rejeita-se a hipótese nula e conclui-se pela existência de uma relação de cointegração, de longo prazo, entre as variáveis. Caso contrário, se a estatística F for menor que o limite inferior, $I(0)$, não se rejeita a hipótese nula e conclui-se que não existe cointegração entre as variáveis. Uma terceira situação possível é o valor da estatística F estar entre o limite inferior e superior. Nesse caso, o teste é inconclusivo, a menos que se saiba se as variáveis são integradas de ordem 0 ou de ordem 1.

Assim, para proceder ao *boundss test* de cointegração, foi especificada a seguinte regressão geral⁵:

$$\Delta CO2_t = \mu + \alpha_1 CO2_{t-1} + \beta_0 PIB_t + \beta_1 PIB_{t-1} + \beta_3 CE_t + \beta_4 CE_{t-1} + \beta_5 AC_t + \beta_6 AC_{t-1} + \beta_7 D.URB_t + \beta_8 D.URB_{t-1} + \epsilon_t \quad (5)$$

4.3. Análise da especificação do modelo

Numa última fase, e após os *bounds test* efetuados, averigua-se a boa especificação do modelo através dos testes de autocorrelação dos erros, de heterocedasticidade e da estabilidade do modelo.

4.3.1. Autocorrelação dos erros

Os erros de um modelo dizem-se autocorrelacionados quando se verifica uma dependência temporal entre eles. Ou seja, quando os valores passados dos erros contêm informação sobre os seus valores futuros. Assim, a autocorrelação dos erros, condicionada em X é nula quando:

$$\text{Cov}(u_t, u_{t-s} | x_t) = E(u_t u_{t-s} | x_t) = 0, \quad t = 1, \dots, T$$

em que x_t é o vetor das variáveis explicativas.

A autocorrelação pode ser causada pela falta de dinâmica do modelo mas também por problemas de especificação, como por exemplo a ausência de variáveis relevantes, entre outros.

Uma vez que um modelo cujos erros são autocorrelacionados pode levar a resultados espúrios, é necessário, para evitar a autocorrelação, dinamizar a regressão, através da adição de variáveis ou ainda do ajuste dos desfasamentos.

Assim, para averiguar a presença de autocorrelação nos erros, utilizam-se o teste de Breusch Godfrey.

4.3.2. Heterocedasticidade

A heterocedasticidade quebra a regra da homocedasticidade, uma das 5 propriedades do MCRL (Modelo Clássico de Regressão Linear). Existe homocedasticidade dos erros quando estes têm uma variância condicional constante, isto é:

$$E(u_t^2 | x_t) = \sigma^2, t = 1, \dots, T.$$

Assim, a heterocedasticidade dos erros verifica-se quando a variância condicional dos erros não é constante

$$E(u_t^2 | x_t) = \sigma_t^2$$

em que x_t é o vetor das variáveis explicativas.

Um modelo mal especificado pode causar heterocedasticidade, pelo que é recomendado testar a forma funcional do modelo de regressão.

Com a presença de heterocedasticidade dos erros, quebra-se a quarta hipótese do MCRL. Apesar do estimador OLS continuar a ser centrado e consistente, deixa de ser BLUE e o teorema Gauss Markov torna-se inválido.

4.3.3. Estabilidade do modelo

A estabilidade do modelo é importante uma vez que as quebras de estruturas podem levar a previsões e conclusões erradas. Assim, testa-se a presença de quebras de estrutura através de um procedimento recursivo, o teste *Cumsum*.

O teste *Cumsum* analisa a soma acumulada dos resíduos recursivos e avalia a significância dos desvios em relação ao seu valor esperado. Assim, a hipótese nula de estabilidade é rejeitada se os desvios ultrapassarem os limites fixados.

5. Evidência empírica

O objetivo principal deste trabalho é estudar a existência de relações de longo prazo entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico de um país, através de um modelo ARDL. Neste sentido, foram aplicados, sucessivamente, os seguintes passos: (i) teste de estacionariedade; (ii) teste de causalidade à Granger; (iii) especificação do modelo; (iv) estimação do modelo; (v) teste de cointegração através da estatística *F* do *bounds test* de Pesaran & Shin (1998) e Pesaran *et al.* (2001) e (vii) diagnóstico do modelo através dos testes de autocorrelação dos erros, heterocedasticidade, e estabilidade do modelo.

Após os primeiros quatro passos, cujos resultados são apresentados nos anexos 1, 2 e 3, apresentam-se as conclusões dos *bounds tests* na tabela 2. Os resultados dos respetivos testes são apresentados no anexo 4 assim como os testes de correta especificação do modelo no anexo 5.

País	cointegração
Africa do Sul	sim
Áustria	não
Bélgica	não
Brasil	sim
China	sim
Espanha	sim
Estados Unidos da América	sim
França	sim
India	sim
Indonésia	sim
Islândia	não
Japão	sim
Luxemburgo	não
Malásia	sim
México	sim
Países Baixos	sim
Portugal	sim
Suécia	não
Suíça	não
Tailândia	sim

Tabela 2. Conclusões dos *bounds test*

Assim, conclui-se que 14 dos 20 países analisados apresentam uma relação de longo prazo entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico. Os resultados dos *bounds test* mostram que o crescimento económico não implica necessariamente um aumento das emissões de CO₂ no longo prazo. Efetivamente, os países em que não se verifica cointegração são países com PIB elevado ao longo do período estudado. Conclui-se assim que a quantidade emitida de CO₂ depende do tipo de indústria com maior peso na economia de cada país, mas também das políticas ambientais implementadas. A título de exemplo, a Suécia, com uma economia baseada na indústria automóvel, tecnológica e turística, não apresenta cointegração entre crescimento económico e emissões de CO₂ em resultado da implementação desde a década de 70 de uma agenda política ambiental. Agenda que coloca este país na primeira posição no ranking do SGI⁶

em termos de políticas ambientais e lhe permitiu ir para além das metas acordadas no Protocolo de Kyoto e na COP 21. No entanto, é de notar que 40% da produção de energia da Suécia provém igualmente da energia nuclear, que não emite CO₂ o que pode ter contribuído para a não existência de uma relação de cointegração.

A Suíça, cuja economia é muito assente no setor bancário e turístico, correspondendo a 73,7% do PIB do país, segue também uma forte política ambiental. O país desenvolveu estudos que apresentam opções que permitem conciliar a sustentabilidade com o crescimento económico. Estes estudos foram baseados na estratégia de “Green Growth” concebida pela OCDE. Não obstante, a qualidade do ar, apesar de ter melhorado nos últimos 25 anos graças à sua política ambiental, ainda ultrapassa os valores limite fixados de emissões de CO₂. Neste sentido, procura ativamente a implementação de novas medidas que permitam respeitar estes limites. Mais a Suécia e a Suíça comprometeram-se a atingir 0 emissões de CO₂ até 2050 nomeadamente através da transição energética aplicada nos setores do transporte e da construção, dois setores predominantes em relação às emissões de CO₂. O combate à expansão das áreas de construção de maneira a preservar o máximo de áreas de natureza também faz parte dos objetivos dos dois países. A Suécia ainda foi mais longe e anunciou em 2017 que iria atingir este objetivo em 2045, e que passaria a emitir emissões de CO₂ negativas, isto é, a quantidade emitida de CO₂ é menor que a quantidade de CO₂ absorvida pela natureza.

O Luxemburgo ocupa a décima primeira posição no ranking do SGI em termos de políticas ambientais. Apesar do país ter o maior consumo de energia per capita e ter a segunda maior densidade de carros da Europa, conseguiu diminuir as emissões de CO₂ de 55% entre 1971 e 2014, graças à aplicação de várias medidas políticas. Efetivamente, o setor residencial foi alvo de políticas de eficiência energética com a diretiva EPBD (*Energy Performance of Buildings*) aprovada em 2002, decorrente do Protocolo de Kyoto. Mais, a implementação de políticas fiscais como a *road tax*, permitiu um menor consumo de energia uma vez que aumentou o uso dos transportes públicos em

detrimento dos carros particulares. É de notar que o país regista a maior quantidade de CO₂ da amostra. Efetivamente tendo uma fiscalidade muito vantajosa ao nível do mercado do petróleo, muitos dos seus países vizinhos vêm abastecer-se no Luxemburgo fazendo disparar as quantidades de CO₂ per capita uma vez que o consumo se mantém no país.

A Bélgica ocupa a vigésima quinta posição, menos favorável, em parte causada pela má coordenação entre as três regiões (Valônia, Flandres e Bruxelas-Capital). No entanto, a diretiva EED (*Energy Efficiency Directive*) de 2012 baseada no plano *Primes 2007*, permitiu já uma diminuição das emissões de CO₂ de 14%.

Por fim a Islândia, ocupa a trigésima posição no ranking do SGI, a mais baixa entre os países estudados, apesar de ter a maior quota de energias renováveis da Europa. Efetivamente, 99% da produção de energia elétrica provém de energia renovável. No entanto, esta transição não resulta de um contexto ecológico, mas sim de uma dificuldade do país em suportar as flutuações do preço do petróleo. A transição permitiu assim a expansão do PIB per capita em 94% assim como a diminuição em 15% das emissões de CO₂ entre 1971 e 2014. A Islândia é assim a prova de que economias modernas podem ter energias renováveis com impacto positivo no PIB. Não obstante, as emissões de CO₂ permanecem altas devido à indústria da pesca, do metal e do turismo justificando a posição pouco favorável do país no ranking do SGI.

Os países para os quais se concluiu existir cointegração são países desenvolvidos como os Estados Unidos, o segundo maior emissor de CO₂ mundial, e em desenvolvimento entre os quais se destacam os BRIC – Brasil, Rússia, Índia e China⁷.

Os Estados Unidos são os maiores produtores de petróleo e consumidores de petróleo no mundo. Assim, não é de admirar que ocupem a posição mais baixa do ranking do SGI em termos de políticas ambientais, situação que tende a agravar-se com o desaparecimento das mesmas desde a administração de Donald Trump.

Os BRICs são os mais importantes países em desenvolvimento nas últimas décadas, cuja economia assenta essencialmente no setor industrial. No caso do Brasil, representa um

terço do PIB. O país é um dos principais produtores mundiais de petróleo, de gás, de ferro e de aço. Apesar de possuir a maior reserva natural de oxigénio do mundo, pouco é feito para a preservar. Efetivamente, a deflorestação da Amazónia é cada vez mais intensa, sendo fortemente apoiada pelo Presidente Bolsonaro.

Na China, o maior emissor de CO₂ mundial, o setor industrial é responsável por 46% do PIB do país. Produtor n.º 1 à escala mundial de cimento, aço e fertilizantes químicos, tem uma das maiores indústrias de mineração com uma taxa de crescimento, nas últimas décadas, de 10%, a maior à escala mundial. No entanto, nos últimos anos, os níveis preocupantes de concentração de CO₂ na atmosfera, fizeram despertar a necessidade de implementação ativa de políticas ambientais, abrindo assim as portas à possibilidade de um país em desenvolvimento poder crescer de maneira sustentável. A Índia, assim como os restantes países em desenvolvimento da amostra, Indonésia, Malásia ou Tailândia, são países cuja agenda política ambiental apenas agora se começa a impor. A China, se continuar a desenvolver uma política orientada para o cumprimento de objetivos ambientais, poderá servir de prova de que países em desenvolvimento podem ter crescimento económico sustentável.

Os países da União Europeia que constam da amostra ocupam posições intermédias no ranking do SGI. A título de exemplo, França, Portugal e Espanha ocupam a décima segunda, décima sétima e vigésima posição respetivamente. Nestes países as políticas ambientais estão cada vez mais presentes no debate político. No caso de Portugal, a diretiva FER 2009/28/CE definiu o objetivo de alcançar até 2020 uma quota de 31% de energias de fonte renovável no consumo final bruto de energia e uma quota de 10% no setor dos transportes. Apesar do objetivo ainda não ter sido alcançado, os progressos são visíveis. Efetivamente, a quota de energia renovável tem aumentado continuamente, ultrapassando em alguns períodos a produção de energia fóssil – 51,80% contra 48,20% de energias renovável e fósseis no período de agosto de 2017 a agosto de 2019, respetivamente. Em Espanha, o *Plan de Fomento de las Energias Renovables* aprovado em 1999 deu azo ao desenvolvimento das energias renováveis,

registando em 2018, 40% da eletricidade produzida a partir de fontes renováveis. Mais, o anúncio do fim do *impuesto al sol* em 2021 foi acolhido positivamente. De facto, a inexistência do imposto vai incentivar de novo os particulares a produzirem a sua própria energia solar. Por fim, os Países Baixos, com uma economia baseada em grande parte no setor agrícola e na indústria alimentar, aprovaram a *climate law*, que fixa como objetivo as reduções em 50% das emissões de CO₂ até 2030, o que ultrapassa a meta fixada pela União Europeia.

6. Conclusão

O objetivo principal deste trabalho foi averiguar a existência de uma relação de cointegração, isto é, de longo prazo, entre crescimento económico e emissões de CO₂. Para tal, foram estimados os Mecanismos Corretores de Erro para cada país usando modelos ARDL. Os resultados dos *bounds tests* demonstram que, 14 dos 20 países analisados, apresentam cointegração, sejam países desenvolvidos ou em desenvolvimento. A análise permite ainda concluir que a quantidade de CO₂ emitida depende do tipo de indústrias que mais contribuem para o PIB desses países e das políticas ambientais implementadas. Efetivamente, constatou-se que os países para os quais não existe cointegração implementam, já há algumas décadas, uma agenda política ambiental. Tal é o caso da Suíça, da Bélgica e do Luxemburgo cujas emissões de CO₂ diminuíram durante o período abarcado. Foi também observado que os países em desenvolvimento para os quais se detetou cointegração tem, todos, economias assentes em indústrias transformadoras poluidoras. Destes países, somente a China começou, em anos recentes, a implementar ações para limitar as emissões de CO₂. Se estas ações tiverem sucesso, a China poderá servir de exemplo aos países em desenvolvimento, seus vizinhos.

“É triste pensar que a natureza fala mas que os homens não a ouvem” – Victor Hugo (1870)

O desenvolvimento sustentável é um tema importante demais para ser só preocupação dos militantes ecológicos. O custo da insuficiência de ação acabará por exceder o custo das alterações necessárias para reverter a situação. Alguns economistas, como Kenneth Arrow, nobel da economia em 1972, começam a pôr a hipótese da EKC em questão. Este economista afirma que “poluir primeiro, limpar depois” não é um método viável uma vez que não se pode afirmar com certeza que os danos causados e ainda por causar são reversíveis. Kenneth Arrow afirma ainda que as políticas ambientais aplicadas nos países desenvolvidos só têm sido possíveis à custa dos países em desenvolvimento dado que resultam da exportação para estes últimos das indústrias poluidoras. Segundo este economista, para o desenvolvimento sustentável ser viável, é necessário que haja uma mudança na perceção do valor em termos económicos. Pode-se então fazer uma ligação entre o pensamento do autor e o “*Green New Deal*”, uma vez que se trata de manter o funcionamento da sociedade, mas de uma forma sustentável. Sustentável ecologicamente, mas também socialmente e economicamente. Essa linha de pensamento implica assim uma mudança global no funcionamento das nossas sociedades, isto é, *transformar a economia e torná-la mais justa*, em paralelo com a redução das emissões de CO₂ (Klein, N. 2019).

7. Referência Bibliográfica

1. Al Mulali, U. Gholipour, H. Janice, L. Sab, N. (2013). Exploring the relationship between urbanization, energy consumption and CO₂ emissions in MENA countries. *Science Direct - Renewable and Sustainable Energy Review: Volume 23*, July 2013, Pages 107-112.
2. Al-mulali, U. & Sab, C. (2012). The impact of energy consumption and CO₂ emissions on the economic growth and financial development in the Sub Saharan African countries. *Science Direct – Energy: Volume 39*, March 2012, Pages 180-186.
3. Acaravcia, A. & Ozturk, I. (2010). On the relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in Europe. *Science Direct – Energy: Volume 35*, December 2010, Pages 5412 - 5420.
4. Agência portuguesa do ambiente. O protocolo de Quito. Disponível em <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>.
5. APREN. Disponível em <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/destaques>
6. Aqueel, A & Sabihuddin, M. (2001). The relationship between energy consumption and economic growth in Pakistan. *Asia-Pacific Develepmnt Journal*, Vol. 8, No 2.
7. Banco Mundial. Disponível em <https://www.worldbank.org/>.
8. Brundtland (1987). Our Common Future, 16.
9. Batenbaum, J. (2009). 1979-2009: L’histoire de trente ans de lutte contre les changements climatiques. Disponível em <https://www.actualites-news-environnement.com/21729-1979-2009-histoire-trente-ans-lutte-changements-climatiques.html>.
10. Carvalho, F. (2016). O problema das alterações climáticas. *Empregos para o clima*. Disponível em <http://www.empregos-clima.pt/o-problema-das-alteracoes-climaticas-filipe-carvalho-climaximo/>.

11. Chen, P. Chen, S. Hsu, C Chen, C. (2016). Modeling the global relationship among economic growth, energy consumption and CO2 emissions. *Science Direct - Renewable and Sustainable Energy Reviews*: Volume 65, November 2016, Pages 420-431.
12. Daly, H. (1977). Steady State Economy.
13. Dogan, E. & Turkekul, B. (2015). CO2 emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the UKC hypothesis for the USA. *Science Direct - Environment Science and Pollution Research*: Volume 23, January 2016, Pages 1203-2013.
14. Engle RF, Granger CW (1987) Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econom J Econom Soc* 55:251–276.
15. Esso, L. & Keho, Y (2016). Energy consumption, economic growth and carbon emissions: cointegration and causality evidence from selected African countries. *Science Direct – Energy*: Volume 114, 1 November 2016, Pages 492-497.
16. Euractiv (2018). Disponível em <https://www.euractiv.fr/section/climat/news/only-16-countries-meet-their-commitment-to-paris-agreement-new-study-finds/>
17. Farhani, S. & Ozturk, I (2015). Causal relationship between CO emissions, real GDP, energy consumption, financial development, trade openness, and urbanisation in Tunisia. *Environment Science and Pollution Research*: Volume 22, October 2015, Pages 15663-15667.
18. Ginevicius, R. Lapinskienė, G. Peleckis, K. (2016). The evolution of the Environmental Kuznets curve concept: The review of the research.
19. Govindaraju, V. & Tang, C. (2013). The dynamic links between CO2 emissions, economic growth, and coal consumption in China. *Science Direct - Science Direct - Applied Energy*: Volume 104, April 2013, Pages 310-318.
20. Granger CW, Newbold P (1974). Spurious regressions in econometrics. *J Econ* 2(2):111–120.
21. Grossman, G. & Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement.

22. Heinberg, R. (2016). Our Renewable Future. Disponível em: <https://ourrenewablefuture.org/>.
23. Hossain, S. (2012). An Econometric Analysis for CO2 Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Foreign Trade and Urbanization of Japan. *Scientific Research - Scientific Research - LCE Vol.3 No.3 A*, November 2012.
24. Hugo, V. (1870). Carnets.
25. Jancovici, J.M. (2006). Does economic growth “create” greenhouse effect? Disponível em <https://jancovici.com/en/climate-change/economy/does-economic-growth-create-greenhouse-effect/>.
26. Jackson, T. (2009). Prosperity without growth.
27. Johansen S, Juselius K (1990) Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money. *Oxf Bull Econ Stat* 52(2):169–210.
28. Kaika, D. & Zervas, E (2013). The Environmental Kuznets Curve theory. *Science Direct - Energy Police: Volume 62*, November 2013, Pages 1392-1402.
29. Kasman, A. & Duman, YS. (2015). CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU members and candidate countries: a panel data analysis. *Science Direct - Economic Modelling: Volume 44*, January 2015, Pages 97-103.
30. Klein, N. (2019). *As nossas decisões individuais não têm qualquer efeito face à mudança de que precisamos.* Disponível em <https://www.publico.pt/2019/09/19/mundo/entrevista/naomi-klein-assistir-inicio-barbarie-climatica-1887167>.
31. Kuznets, S. (1995). Economic Growth and Income Inequality.
32. Narayan, P. Behnaz, S. Abdorreza, S. (2016). Economic Growth and carbon emissions. *Science Direct - Economic Modelling: Volume 53*, February 2016, Pages 388-397.

33. Ouharon, A. (2002). Les négociations sur le climat: un bref retour sur l'histoire. 100-106.
34. Ozturk, I. & Acaravci, A. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Science Direct - Renewable and Sustainable Energy Reviews: Volume 14, Issue 9, December 2010, Pages 3220-3225.*
35. Pao, H. & Tsai, C. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries.
36. Panayotou, T. (1997). Demystifying the environmental Kuznets Curve: turning black box into a policy tool. *Environment and Development economics, 2: 465-484.*
37. Pesaran MH, Shin Y (1998) An autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. *Econ Soc Monogr 31:371–413.*
38. Pesaran MH, Shin Y, Smith RJ (2001) Boundss testing approaches to the analysis of level relationships. *J Appl Econ 16(3):289–326.*
39. Pollin, R. (2015). A Green New Deal.
40. Protocolo de Kyoto (1990). 13-14.
41. Saboori, B. Sulaiman, J. Mohd, S. (2012). Economic growth and CO2 emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Science Direct - Energy Policy: Volume 51, December 2012, Pages 184-191.*
42. Salahuddin, M. Gow, J. Ozturk, I. (2015). Is the long run relationship between economic growth, electricity consumption, carbon dioxide emissions and financial development in Gulf Cooperation Council countries robust? *Science Direct - Renewable and Sustainable Energy Reviews: Volume 51, November 2015, Pages 317-326.*
43. Shafik, N & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic Growth and Environmental quality: Time series and cross country evidence.
44. Wang, S. Li, G. Fang, G. (2018). Urbanization, economic growth, energy consumption and CO2 emissions: empirical evidence from countries with

different income levels. *Science Direct - Renewable and Sustainable Energy Reviews*: Volume 81, Part 2, January 2018, Pages 2144-2159.

45. World Commission on Environment and Development (1987). Our common future. Disponível em <https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un--milestones-in-sustainable-development/1987--brundtland-report.html>.
46. Xu, B. & Lin, B (2015). How industrialization and urbanization process impacts on CO2 emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models. *Science Direct - Energy Economics*: Volume 48, March 2015, Pages 188-202.

ANEXOS

Anexo 1 – Teste ADF⁶

Ho: $\delta = 0$, existe raiz unitária – processo não estacionário

H1: $\delta < 0$, não existe raiz unitária – processo estacionário

Um *valor – p* inferior a 5% rejeita a hipótese nula de não estacionariedade.

Variável \ País	África do Sul		Austria		Bélgica		Brasil		China	
Emissões de CO2	0,6153	-	0,9099	-	0,3882	-	0,9028	-	0,0855	-
	0,0034	I(1)	0,0114	I(1)	0,0112	I(1)	0,2011	I(1)	0,1977	-
PIB per capita	0,1359	-	0,5511	-	0,5037	-	0,8186	-	0,6053	-
	0,0221	I(1)	0,0379	I(1)	0,0001	I(1)	0,0054	I(1)	0,9737	-
Consumo de energia	0,9979	-	0,7703	-	0,9601	-	0,9751	-	0,9063	-
	0,0001	I(1)	0,0054	I(1)	0,0077	I(1)	0,0081	I(1)	0,0032	I(1)
Abertura Comercial	0,6366	-	0,6108	-	0,4027	-	0,3133	-	0,5272	-
	0,0001	I(1)	0,0084	I(1)	0,0001	I(1)	0,0002	I(1)	0,0225	I(1)
População urbana	0,6114	-	0,5543	-	0,4014	-	0,9928	-	0,5272	-
	0,3094	-	0,5364	-	0,6331	-	0,0891	-	0,0160	I(1)
	0,0122	I(2)	0,0018	I(2)	0,0150	I(2)	0,0093	I(2)		

Variável \ País	Espanha		EUA		França		Índia		Indonésia	
Emissões de CO2	0,9063	-	0,7043	-	0,7025	-	0,9955	-	0,6958	-
	0,0431	I(1)	0,0073	I(1)	0,0371	I(1)	0,0288	I(1)	0,0021	I(1)
PIB per capita	0,3491	-	0,4424	-	0,5037	-	0,9933	-	0,9534	-
	0,0015	I(1)	0,0015	I(1)	0,0371	I(1)	0,0070	I(1)	0,0065	I(1)
Consumo de energia	0,9884	-	0,7087	-	0,9966	-	0,9956	-	0,6551	-
	0,3504	-	0,0102	I(1)	0,0107	I(1)	0,0006	I(1)	0,0002	I(1)
Abertura Comercial	0,3047	-	0,1572	-	0,3624	-	0,7716	-	0,5835	-
	0,0040	I(1)	0,0001	I(1)	0,0086	I(1)	0,0039	I(1)	0,0001	I(1)
População urbana	0,0542	-	0,1878	-	0,9377	-	0,6608	-	0,2681	-
	0,9257	-	0,3478	-	0,3094	-	0,6546	-	0,2978	I(1)
	0,0001	I(2)	0,0201	I(2)	0,0122	I(2)	0,0352	I(2)	0,0207	

Variável \ País	Islândia		Japão		Luxemburgo		Malásia		México	
Emissões de CO2	0,5751 0,0012	- I(1)	0,5694 0,0005	- I(1)	0,5694 0,0009	- I(1)	0,9955 0,0288	- I(1)	0,3449 0,0276	- I(1)
PIB per capita	0,966 0,0056	- I(1)	0,5694 0,0006	- I(1)	0,8133 0,0001	- I(1)	0,9933 0,0070	- I(1)	0,5548 0,0002	- I(1)
Consumo de energia	0,7435 0,0177	- I(1)	0,9967 0,0398	- I(1)	0,1131 0,0003	- I(1)	0,9956 0,6386 0,0006	- I(1)	0,0498 0,0371	- I(1)
Abertura Comercial	0,8131 0,0029	- I(1)	0,9418 0,0345	- I(1)	0,9325 0,0058	- I(1)	0,7716 0,0039	- I(1)	0,1144 0,0001	- I(1)
População urbana	0,9659 0,9257 0,0001	- - I(2)	0,5020 0,2827 0,0189	- - I(2)	0,7466 0,0786 0,0001	- - I(2)	0,6608 0,6546 0,0011	- - I(2)	0,0545 0,2978 0,0063	- - I(2)

Variável \ País	Países Baixos		Portugal		Suécia		Suíça		Tailândia	
Emissões de CO2	0,2794 0,0063	- I(1)	0,9939 0,0411	- I(1)	0,6298 0,0101	- I(1)	0,2575 0,0001	- I(1)	0,2778 0,0191	- I(1)
PIB per capita	0,4393 0,0006	- I(1)	0,4015 0,0001	- I(1)	0,6984 0,0018	- I(1)	0,9082 0,0299	- I(1)	0,8111 0,0082	- I(1)
Consumo de energia	0,3719 0,0006	- I(1)	0,9953 0,0102	- I(1)	0,9091 0,0216	- I(1)	0,9952 0,0011	- I(1)	0,6639 0,0291	- I(1)
Abertura Comercial	0,9951 0,0202	- I(1)	0,1714 0,0001	- I(1)	0,3842 0,0010	- I(1)	0,9412 0,0107	- I(1)	0,6933 0,0022	- I(1)
População urbana	0,2693 0,5274 0,0192	- - I(2)	0,1323 0,3953 0,0149	- - I(2)	0,9936 0,2298 0,0324	- - I(2)	0,5877 0,4637 0,0011	- - I(2)	0,6659 0,5611 0,0257	- - I(2)

Tabela 3. Valor p aproximado de Mackinnon e ordem de integração resultante do teste ADF⁶.

Anexo 2 – Teste de causalidade à Granger

$H_0: \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_p = 0$, não existe causalidade à Granger

$H_1: \delta_j \neq 0$, existe causalidade à Granger

Se o valor $-p$ for inferior a 0,05%, rejeita-se a hipótese nula de causalidade.

Sentido de leitura da tabela: Da direita para a esquerda, as linhas causam as colunas.

Por exemplo, na África do Sul, as emissões de CO₂ não causam PIB per capita uma vez que o valor p é 0,6594. No entanto, o PIB per capita causa as emissões de CO₂, uma vez que o valor p é de 0,0408.

África do Sul	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,6594	0,0474	0,3241	0,2542
PIB per capita	0,0408	-	0,0206	0,5125	0,4978
Consumo de energia	0,308	0,5093	-	0,4030	0,0028
Abertura Comercial	0,7673	0,5381	0,9604	-	0,2013
População urbana	0,0441	0,6700	0,2871	0,6444	-
Áustria	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,9678	0,6593	0,4304	0,9309
PIB per capita	0,1288	-	0,8656	0,8587	0,113
Consumo de energia	0,8406	0,2258	-	0,0687	0,6095
Abertura Comercial	0,0227	0,9064	0,0311	-	0,7374
População urbana	0,1226	0,8549	0,0242	0,4927	-
Bélgica	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,2261	0,2563	0,9530	0,7715
PIB per capita	0,5236	-	0,3750	0,4893	0,9244
Consumo de energia	0,3159	0,6477	-	0,9581	0,3404
Abertura Comercial	0,0012	0,3494	0,0003	-	0,6576
População urbana	0,0019	0,5050	0,1783	0,422	-
Brasil	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,2402	0,8637	0,1252	0,5993
PIB per capita	0,0050	-	0,0017	0,7893	0,1753
Consumo de energia	0,2342	0,9040	-	0,6287	0,4597
Abertura Comercial	0,0382	0,4586	0,0032	-	0,6017
População urbana	0,3144	0,2614	0,2242	0,8128	-
China	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,0792	0,1225	0,1525	0,2282
PIB per capita	0,0255	-	0,2502	0,9208	0,6443
Consumo de energia	0,0003	0,0000	-	0,2199	0,1715
Abertura Comercial	0,6793	0,0240	0,3234	-	0,9892
População urbana	0,8157	0,0654	0,6033	0,0096	-

Espanha	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,8945	0,0362	0,2662	0,1778
PIB per capita	0,0000	-	0,0032	0,1253	0,9687
Consumo de energia	0,0001	0,5672	-	0,1903	0,4322
Abertura Comercial	0,2319	0,7343	0,5408	-	0,0700
População urbana	0,0067	0,3154	0,3390	0,7469	-
França	Emissões de CO2	PIB per capita	Abertura Comercial	População urbana	
Emissões de CO2	-	0,3646	0,4795	0,7865	
PIB per capita	0,4187	-	0,0486	0,2906	
Abertura Comercial	0,1353	0,4407	-	0,9653	
População urbana	0,2726	0,5414	0,5414	-	
Índia	Emissões de CO2	PIB per capita	Abertura Comercial	População urbana	
Emissões de CO2	-	0,6606	0,0041	0,4459	
PIB per capita	0,288	-	0,0000	0,9137	
Abertura Comercial	0,0009	0,0373	-	0,6265	
População urbana	0,1146	0,8110	0,0740	-	
Indonésia	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,6244	0,7356	0,4284	0,0286
PIB per capita	0,0000	-	0,9955	0,3207	0,016
Consumo de energia	0,0029	0,4042	-	0,6244	0,6882
Abertura Comercial	0,0011	0,6504	0,8640	-	0,4429
População urbana	0,4356	0,6163	0,392	0,5448	-
Islândia	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,1919	0,2409	0,9838	0,4542
PIB per capita	0,3195	-	0,0000	0,7986	0,0356
Consumo de energia	0,0104	0,0360	-	0,0337	0,0004
Abertura Comercial	0,4395	0,0307	0,0421	-	0,0113
População urbana	0,3354	0,0023	0,1894	0,0651	-
Japão	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,0053	0,5029	0,0471	0,6044
PIB per capita	0,0001	-	0,0047	0,1904	0,1339
Consumo de energia	0,0535	0,0576	-	0,0288	0,2481
Abertura Comercial	0,0002	0,9800	0,0000	-	0,4798
População urbana	0,0146	0,2360	0,0552	0,1122	-
Luxemburgo	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,1855	0,5285	0,4665	0,1133
PIB per capita	0,1898	-	0,3557	0,2760	0,4175
Consumo de energia	0,3720	0,1523	-	0,5556	0,0607
Abertura Comercial	0,6150	0,1522	0,8306	-	0,5385
População urbana	0,7398	0,3797	0,9115	0,8484	-
Malásia	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,0149	0,0051	0,1638	0,3488
PIB per capita	0,0351	-	0,0017	0,0000	0,4373
Consumo de energia	0,2000	0,0051	-	0,1811	0,2578
Abertura Comercial	0,0015	0,0234	0,0233	-	0,4503
População urbana	0,1931	0,7924	0,7993	0,0893	-
México	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,1180	0,6339	0,0645	0,7243
PIB per capita	0,0218	-	0,0790	0,1861	0,7451
Consumo de energia	0,1422	0,0188	-	0,1217	0,4045
Abertura Comercial	0,8064	0,0379	0,3346	-	0,6277
População urbana	0,2073	0,2291	0,1547	0,9366	-

Países Baixos	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,0901	0,0792	0,4140	0,7297
PIB per capita	0,7752	-	0,9416	0,9044	0,8781
Consumo de energia	0,2935	0,5248	-	0,6041	0,4579
Abertura Comercial	0,5664	0,8352	0,0275	-	0,3229
População urbana	0,8110	0,0434	0,0415	0,0269	-
Portugal	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,6055	0,6776	0,0385	0,1507
PIB per capita	0,0285	-	0,1485	0,3048	0,4197
Consumo de energia	0,1540	0,2516	-	0,0607	0,1870
Abertura Comercial	0,8500	0,6945	0,6694	-	0,1558
População urbana	0,1785	0,0832	0,1438	0,3093	-
Suécia	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,7235	0,0003	0,6594	0,7443
PIB per capita	0,0081	-	0,0015	0,6383	0,0108
Consumo de energia	0,1900	0,1248	-	0,9641	0,5962
Abertura Comercial	0,6546	0,1050	0,3855	-	0,1620
População urbana	0,1486	0,3807	0,7931	0,6870	-
Suíça	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,3764	0,0033	0,2280	0,5670
PIB per capita	0,0285	-	0,0333	0,4990	0,8519
Consumo de energia	0,175	0,0483	-	0,8359	0,7317
Abertura Comercial	0,1124	0,3317	0,3542	-	0,3654
População urbana	0,3989	0,0818	0,2774	0,0869	-
Tailândia	Emissões de CO2	PIB per capita	Consumo de energia	Abertura Comercial	População urbana
Emissões de CO2	-	0,3466	0,1865	0,3383	0,0122
PIB per capita	0,0793	-	0,4264	0,0152	0,0036
Consumo de energia	0,0355	0,3298	-	0,2585	0,2752
Abertura Comercial	0,0032	0,3349	0,0389	-	0,4396
População urbana	0,0137	0,5174	0,0531	0,655	-

Tabela 4. Valor p dos testes de *causalidade à Granger*⁷.

Anexo 3 – Modelos de Correção de Erros

País	Curto prazo																constante			
	ΔCO2 (t-1)	ΔCO2 (t-2)	ΔCO2 (t-3)	ΔPIB (t-1)	ΔPIB (t-2)	ΔPIB (t-3)	ΔPIB (t-3)	Δ CE	ΔCE (t-1)	ΔCE (t-2)	ΔCE (t-3)	ΔAC (t-1)	ΔAC (t-2)	ΔAC (t-3)	ΔURB (t-1)	ΔURB (t-2)		ΔURB (t-3)		
África do Sul	-0,01679	-	-	-0,00001	-	-	-	0,00273	-	-	-	0,00382	-	-	-	-5,81276	-0,34832	-1,97926	-	-1,98327
(Valor p)	0,88700	-	-	0,50500	-	-	-	0	-	-	-	0,77400	-	-	-	0,0030	0,75900	0,05700	-	0,08500
Áustria	-0,24297	-	-	0,00000	0,00000	-	-	0,00272	-	-	-	0,00378	-	-	-	-0,84266	-	-	-	0,0651
(Valor p)	0,0022	-	-	0,82100	0,36400	-	-	0,00000	-	-	-	0,62600	-	-	-	0,17600	-	-	-	0,93000
Bélgica	0,00683	-	-	-3E-06	-	-	-	0,00257	-	-	-	-0,00183	-	-	-	1,76411	-	-	-	-0,62292
(Valor p)	0,94300	-	-	0,75500	-	-	-	0,00000	-	-	-	0,76300	-	-	-	0,60700	-	-	-	0,63500
Brasil	0,23806	-0,41084	0,17489	0,00001	-0,00003	0,00000	0,00000	0,00195	-0,00023	0,00075	-	-0,00821	0,00495	-	-	-0,29445	0,33914	-0,01272	-0,02770	0,51758
(Valor p)	0,23100	0,09600	0,09400	0,18600	0,01200	0,69600	0,00060	0,00000	0,81700	0,12300	-	0,00220	0,11400	-	-	0,02400	0,02100	0,09000	0,81100	0,13500
China	0,62735	0,35037	0,22855	0,00037	0,00065	0,00047	0,00090	-	-	-	-	0,01355	-0,01263	-	-	0,00673	-	-	-	-0,01667
(Valor p)	0,00700	0,05100	0,22100	0,20000	0,10000	0,47000	0,00100	-	-	-	-	0,02100	0,01300	-	-	0,94800	-	-	-	0,70700
Espanha	-0,72546	-0,28595	-	0,00000	-	-	-	0,00275	-0,00313	-0,00153	-0,00104	0,03405	0,01758	0,01890	-	0,71501	-	-	-	-0,66807
(Valor p)	0,0002	0,16900	-	0,15500	-	-	-	0,00000	0,00600	0,00700	0,00700	0,00300	0,13100	0,12800	-	0,00200	-	-	-	0,02400
EUA	-	-	-	0,00028	-	-	-	-	-	-	-	0,00598	-	-	-	-2,19614	-	-	-	5,43835
(Valor p)	-	-	-	0,03900	-	-	-	-	-	-	-	0,92300	-	-	-	0,18800	-	-	-	0,00200
França	-0,31418	-	-	0,00001	-	-	-	-0,00077	-	-	-	-	-	-	-	-4,33819	-2,75205	-1,23148	-5,55710	-1,40739
(Valor p)	0,01200	-	-	0,46100	-	-	-	0,01000	-	-	-	-	-	-	-	0,02100	0,04400	0,25200	0,00000	0,20200
Índia	0,01777	0,14248	0,59822	-0,0002	-0,00022	-0,00033	-0,00027	-	-	-	-	-0,00057	-	-	-	-0,13601	0,49089	0,90894	0,47009	0,33824
(Valor p)	0,64200	0,41500	0,00400	0,03600	0,17000	0,03300	0,12800	-	-	-	-	0,83700	-	-	-	0,51400	0,01200	0,00100	0,06800	0,00100
Indonésia	0,43330	-	-	0,00006	0,00034	-0,00001	-0,00004	0,000299	-0,00069	0,00110	-	-0,00414	-	-	-	-	-	-	-	-0,18758
(Valor p)	0,02000	-	-	0,42800	0,01600	0,85200	0,66100	0,60700	0,28600	0,07200	-	0,05100	-	-	-	-	-	-	-	0,07000
Islândia	-	-	-	0,00001	-	-	-	0,00035	-	-	-	-0,01612	-	-	-	9,38232	-	-	-	5,35107
(Valor p)	-	-	-	0,23000	-	-	-	0,00900	-	-	-	0,25100	-	-	-	0,06400	-	-	-	0,00000
Japão	0,22100	-	-	0,00002	0,00000	-	-	0,00179	-0,00078	-	-	0,04359	0,02610	-	-	-	-	-	-	2,11324
(Valor p)	0,19900	-	-	0,04500	0,42900	-	-	0,0000	0,0740	-	-	0,00000	0,07800	-	-	-	-	-	-	0,0020
Luxemburgo	-0,10363	-0,30574	-	0,00000	-	-	-	0,00299	0,00005	0,00106	-	0,003264	-	-	-	-0,62199	-	-	-	-1,63316
(Valor p)	0,59100	0,09200	-	0,50300	-	-	-	0,0000	0,3810	0,0922	-	0,4590	-	-	-	0,36300	-	-	-	0,30300
Malásia	0,10776	0,14248	0,59822	-0,0002	-0,00022	-0,00337	-0,00027	-	-	-	-	-0,00057	-	-	-	-0,13601	0,49089	0,90894	0,47009	0,33824
(Valor p)	0,64200	0,41500	0,00400	0,03600	0,17000	0,03300	0,12800	-	-	-	-	0,83700	-	-	-	0,51300	0,10200	0,00100	0,68000	0,00100
México	0,87048	1,18668	0,85010	0,00009	-0,00002	-0,00012	-0,00024	-0,00055	-0,00266	-0,00031	-0,00275	-0,03285	0,01074	-0,01143	-0,01688	0,60114	-1,30022	1,91309	2,13585	0,78691
(Valor p)	0,03200	0,00200	0,00200	0,10500	0,66800	0,05500	0,01000	0,55600	0,37000	0,76400	0,01100	0,03300	0,36000	0,29000	0,08900	0,47500	0,17600	0,08800	0,03000	0,50800
Países Baixos	0,59727	0,33985	-	-0,00095	-	-	-	0,00229	-0,00186	-0,00150	-	0,00461	-	-	-	0,43468	0,41567	-1,29454	1,64231	-0,65651
(Valor p)	0,00100	0,25000	-	0,27600	-	-	-	0,00000	0,00200	0,12000	-	0,28300	-	-	-	0,29700	0,45400	0,02100	0,00100	0,08600
Portugal	0,59248	0,21919	0,19155	0,00000	0,00000	-	-	0,00312	-0,00155	-	-	-0,01435	0,01847	0,01207	0,01010	0,11361	1,23181	2,44674	-	0,91295
(Valor p)	0,00800	0,01900	0,02800	0,59500	0,00100	-	-	0,0000	0,0230	-	-	0,00700	0,00200	0,02800	0,04500	0,89600	0,16300	0,01700	-	0,0020
Suécia	-0,16015	-	-	0,00000	-0,00001	-	-	0,00154	0,00045	-	-	0,00418	-0,02561	-	-	0,21019	-1,01813	-	-	-1,54201
(Valor p)	0,38900	-	-	0,63600	0,60100	-	-	0,00000	0,21700	-	-	0,72900	0,08400	-	-	0,91900	0,56400	-	-	0,5310
Suíça	-0,34951	-0,43902	-0,37870	0,00000	-	-	-	0,00208	0,00061	0,00080	0,00074	0,00051	-	-	-	1,32900	2,12518	-1,53366	4,55076	0,75378
(Valor p)	0,07000	0,00900	0,03400	0,90800	-	-	-	0,00000	0,13700	0,04400	0,07700	0,88500	-	-	-	0,39400	0,29500	0,37700	0,01500	0,55000
Tailândia	-	-	-	9,01E-05	0,000264	0,000109	-	0,0015	-	-	-	-0,0052	-0,0054	-0,0053	-0,0103	0,0425	0,3486	0,3473	-	-1,1886
(Valor p)	-	-	-	0,29800	0,00100	0,13800	-	0,0030	-	-	-	0,03700	0,06300	0,05100	0,00000	0,70000	0,00200	0,00300	-	0,06100

Tabela 5. Coeficientes de curto prazo e valores p⁸.

8: Os valores em bold correspondem ao valor p. Os restantes valores correspondem aos coeficientes de curto prazo.

País	Coef. Ajust.	Longo prazo			
		CO2 (t-1)	PIB PC (t-1)	CE (t-1)	AC (t-1)
África do Sul	-0,02795	0,00039	0,01800	0,11321	-51,9963
Áustria	-0,40130	-0,00005	0,00238	0,00941	0,47526
Bélgica	-0,18141	0,00001	0,00216	-0,01009	42,24305
Brasil	-0,02895	0,00061	-0,00473	-0,46437	-6,36082
China	-0,71520	0,00000	0,00331	0,00941	-
Espanha	-0,02937	0,00029	0,27899	0,19828	24,34094
EUA	-1,17471	0,00015	-0,89083	2,73458	-
França	-0,11469	-0,00004	0,00283	-0,06609	8,97388
Índia	-0,57965	0,00030	-	0,02247	-1,43688
Indonésia	-1,22906	0,00023	0,00151	0,00228	-
Islândia	-0,50041	-0,00003	0,00000	-0,03221	-0,78230
Japão	-0,34571	0,00003	0,00055	-0,01230	-
Luxemburgo	-0,13526	-0,00004	0,00386	0,02413	-4,59842
Malásia	-0,57965	0,00030	-	0,02247	-1,43688
México	-1,23131	0,00003	0,00262	-0,01483	0,01039
Países Baixos	-0,83691	-0,00113	0,00340	-0,00848	1,32066
Portugal	-0,33392	-0,04270	1,27632	38,1241	-923,372
Suécia	-0,09143	0,00000	0,00344	0,25258	63,83938
Suíça	-0,14478	0,00000	-0,00027	0,00354	-6,64851
Tailândia	-0,55537	-0,00038	0,00427	-0,00217	-

Tabela 6. Modelo de Correção de Erros (dos países que apresentam cointegração)⁹

Anexo 4 – Testes de cointegração – (*Bounds test*)

País	Limite inferior 95%	Limite superior 95%	Estatística F
África do Sul	2,86	4,01	5,892
Austria	2,86	4,01	1,774
Belgica	2,86	4,01	2,407
Brasil	2,86	4,01	5,876
China	3,23	4,35	7,5
Espanha	2,86	4,01	7,39
USA	3,23	4,35	5,256
França	3,23	4,35	7,76
Índia	3,23	4,35	6,637
Indonésia	3,23	4,35	7,995
Islândia	2,86	4,01	0,972
Japão	3,23	4,35	4,619
Luxemburgo	2,86	4,01	0,758
Malásia	3,23	4,35	6,637
México	2,86	4,01	6,538
Países Baixos	2,86	4,01	7,738
Portugal	4,94	5,73	5,897
Suécia	2,86	4,01	2,594
Suíça	2,86	4,01	2,215
Tailândia	2,86	4,01	7,925

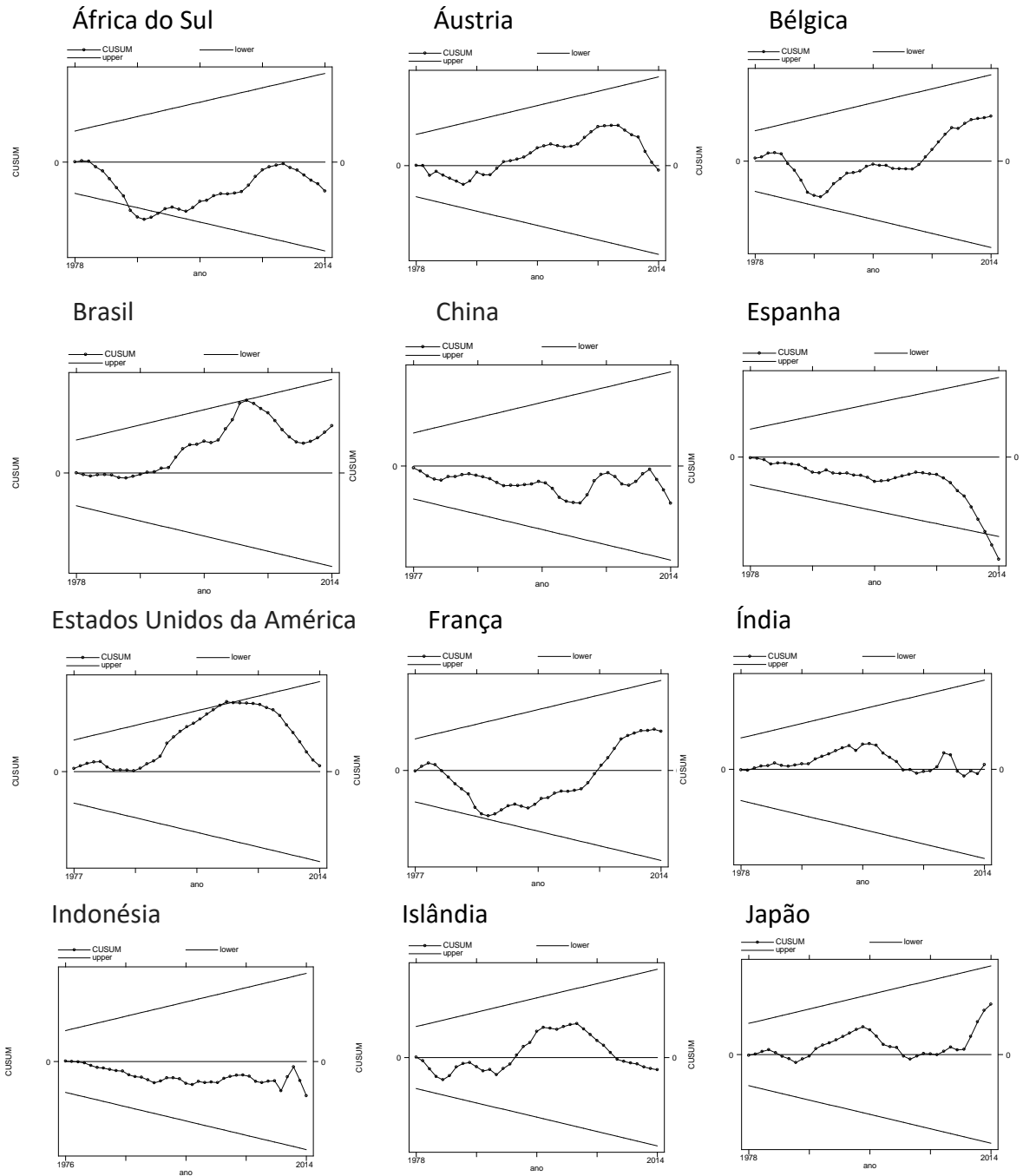
Tabela 7. Teste de cointegração – (*Bounds test*). Estatística F do bounds test e os respetivos valores críticos.

Anexo 5 – Análise de diagnóstico

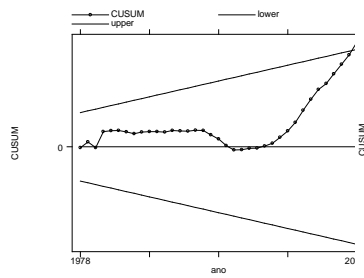
País \ Teste	Breush Godfrey	White
África do Sul	0,2346	0,4256
Austria	0,0835	0,4274
Belgica	0,1193	0,4274
Brasil	0,2132	0,4246
China	0,4086	0,4246
Espanha	0,1343	0,4246
USA	0,0872	0,4703
França	0,0949	0,4246
Índia	0,4764	0,4246
Indonésia	0,1956	0,4256
Islândia	0,2220	0,4256
Japão	0,4857	0,4274
Luxemburgo	0,7685	0,4265
Malásia	0,4764	0,4246
México	0,5290	0,4246
Países Baixos	0,6540	0,4246
Portugal	0,1176	0,4256
Suécia	0,3705	0,4265
Suíça	0,0755	0,4246
Tailândia	0,5181	0,4256

Tabela 8. Diagnóstico - Testes de Autocorrelação de Heterocedasticidade

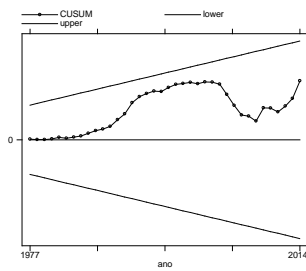
Anexo 6 – Teste de estabilidade – teste *cusum*



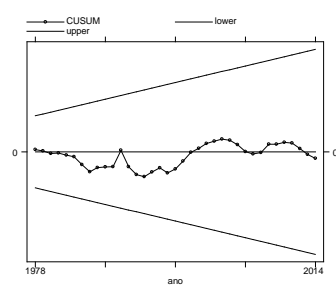
Luxemburgo



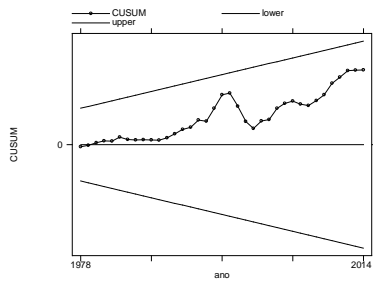
Malásia



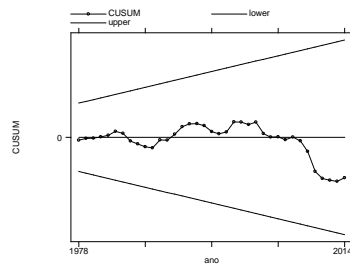
México



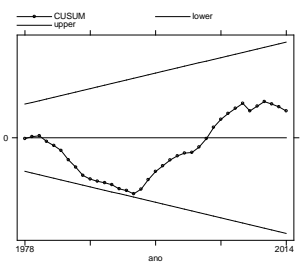
Países Baixos



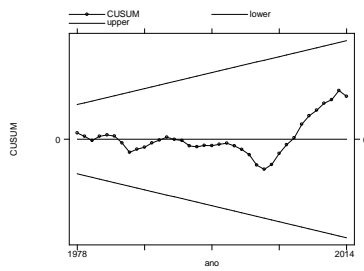
Portugal



Suécia



Suíça



Tailândia

