



SUSANA CRISTINA DA SILVA GONÇALVES **EFEITOS DO CONSUMO DE ENERGIA,
MACROECONÓMICOS E FINANCEIROS NAS
EMISSÕES DE CO₂ EM PAÍSES EUROPEUS**



**SUSANA CRISTINA DA
SILVA GONÇALVES**

**EFEITOS DO CONSUMO DE ENERGIA,
MACROECONÓMICOS E FINANCEIROS NAS
EMISSIONES DE CO₂ EM PAÍSES EUROPEUS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Economia, realizada sob a orientação científica da Doutora Mara Madaleno, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professora Doutora Marta Alexandra da Costa Ferreira Dias,
Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo
Universidade de Aveiro

Professora Doutora Mónica Alexandra Vilar Ribeiro de Meireles
Professora Auxiliar, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Professora Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno
Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da
Universidade de Aveiro

agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem a colaboração destas grandes pessoas:

À minha orientadora Professora Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno, um grande agradecimento pelo grande apoio que me deu desde o início até ao final do percurso académico. A Professora foi sem dúvida alguma o grande alicerce desta dissertação. Esclareceu-me prontamente todas as dúvidas por mim suscitadas em qualquer dia ou hora, mas mais que tudo isso, acreditou sempre em mim e nas capacidades para concluir este passo.

Agradeço aos meus amigos Diogo Ribeiro, André Fonseca e Adelino Couto pelo grande apoio que me deram durante todo o percurso académico, e sobretudo ao Diogo Ribeiro que me apoiou e incentivou a concluir esta dissertação.

Aos meus pais e irmãos, agradeço sobretudo pela paciência que tiveram para me compreender nos dias que em que estava mais nervosa com este trabalho. Ao meu noivo Hélder Rodrigues agradeço por todo o carinho e apoio que recebi desde o início da vida académica, passando pelo incentivo em evoluir com a inscrição no mestrado, até todo apoio e compreensão pelos dias e noites menos bem passadas quando a preocupação apertava para a conclusão da dissertação.

Por último, mas muito importante, agradeço à Associação Portuguesa de Economia da Energia (APEEN) pelo prémio de 1.º lugar que me foi entregue pelo desenvolvimento da minha dissertação, no seu 3.º encontro decorrido nos dias 18 e 19 de Outubro de 2018, prémio IAEE *student* para o melhor trabalho realizado e apresentado na conferência anual da APEEN por um aluno de mestrado e/ou doutoramento.

A todos, um muito obrigado!

palavras-chave

Curva Ambiental de Kuznets (EKC), Emissões de CO₂, Crescimento Económico, Consumo de Energia, Desenvolvimento Financeiro, Dependência Petrolífera, Aumento Populacional.

resumo

Neste trabalho estudamos a curva ambiental de Kuznets, acrescentando as variáveis explicativas: consumo de energia, consumo de energia renovável, desenvolvimento financeiro, dependência do petróleo e aumento populacional para além do crescimento económico para explicar as emissões de CO₂. Este trabalho empírico é aplicado utilizando-se para o efeito dados de 20 estados membros da União Europeia para o período compreendido entre 1997 e 2015. Após aplicação do modelo em painel de vetor autorregressivo, confirmamos a existência da EKC em forma de U invertido.

Através da análise conjunta dos resultados do modelo e da causalidade de Granger entre todas as variáveis para melhor explicação dos resultados e observação da capacidade de influência das variáveis em estudo, os resultados parecem indicar que apenas o crescimento económico, o historial de emissões de CO₂ (emissões do período anterior influenciam positivamente os atuais) e o consumo de energia aumentam a poluição ambiental. Já o consumo de energias renováveis e o aumento populacional parecem melhorar as condições ambientais.

Segundo os testes de causalidade de Granger, apenas o crescimento económico e o consumo de energia causam as emissões de dióxido de carbono. Este estudo é importante tanto para o agente consumidor como para os que definem as políticas ambientais e energéticas pois dá um importante contributo para a literatura já existente, uma vez que todas as variáveis explicativas introduzidas no modelo se mostraram relevantes, dado que a hipótese EKC foi sempre validada à medida que se introduziram mais variáveis no modelo.

keywords

Environmental Kuznets Curve (EKC), CO₂ emissions, Economic growth, Energy Consumption, Financial Development, Oil dependence, Population growth.

abstract

We studied the environmental Kuznets curve, adding the explanatory variables: energy consumption, renewable energy consumption, financial development, dependence on oil, and population growth, as well economic growth to explain CO₂ emissions. This empirical work is applied using data from 20 member states of the European Union for the period between 1997 and 2015. After application of the panel vector autoregressive model (PVAR), we confirmed the existence of an inverted U-shaped EKC. By analyzing the PVAR results and Granger's causality, they seem to indicate that economic growth, previous CO₂ emissions and energy consumption increase environmental pollution. Consumption of renewable energies and the population growth seem to improve the environmental conditions. According to Granger's causality tests, only economic growth and energy consumption cause carbon dioxide emissions. All the explanatory variables introduced in the model were shown to be relevant, since the EKC hypothesis was always validated as more variables were introduced in the model, so this study is important to the consumer and for who defines environmental policies once it gives an important contribution to existing literature.

Índice

Índice Gráficos.....	viii
Índice Figuras	ix
Índice Tabelas.....	x
Lista Acrónimos	xi
1. Introdução.....	1
2. Revisão da Literatura.....	5
2.1. Environmental Kuznets Curve (EKC).....	5
2.2. O consumo de energia e a Curva Ambiental de Kuznets	7
2.3. O desenvolvimento financeiro e a Curva Ambiental de Kuznets	9
2.4. A dependência do petróleo e a Curva Ambiental de Kuznets.....	11
2.5. O consumo de energias renováveis e a Curva Ambiental de Kuznets	12
2.6. O aumento populacional e a Curva Ambiental de <i>Kuznets</i>	12
3. Dados.....	17
4. Metodologia	21
5. Resultados Empíricos	25
5.1. Determinação da EKC.....	25
5.2. Causalidade de Granger	32
5.3. Discussão de resultados e implicações de política.....	35
6. Conclusões.....	41
Referências.....	43
Anexo	49

Índice Gráficos

Gráfico 1 - Evolução das variáveis: Alemanha.....	56
Gráfico 2 - Evolução das variáveis: Bélgica.....	56
Gráfico 3 - Evolução das variáveis: Dinamarca.....	57
Gráfico 4 - Evolução das variáveis: Eslováquia.....	57
Gráfico 5 - Evolução das variáveis: Espanha	58
Gráfico 6 - Evolução das variáveis: Estónia	58
Gráfico 7 - Evolução das variáveis: Finlândia	59
Gráfico 8 - Evolução das variáveis: França	59
Gráfico 9 - Evolução das variáveis: Grécia.....	60
Gráfico 10 - Evolução das variáveis: Holanda	60
Gráfico 11 - Evolução das variáveis: Hungria	61
Gráfico 12 - Evolução das variáveis: Itália	61
Gráfico 13 - Evolução das variáveis: Letónia	62
Gráfico 14 - Evolução das variáveis: Lituânia	62
Gráfico 15 - Evolução das variáveis: Malta	63
Gráfico 16 - Evolução das variáveis: Polónia	63
Gráfico 17 - Evolução das variáveis: Portugal	64
Gráfico 18 - Evolução das variáveis: Reino Unido	64
Gráfico 19 - Evolução das variáveis: República Checa	65
Gráfico 20 - Evolução das variáveis: Suécia	65

Índice Figuras

Figura 1 - Esquerda: Causalidade de Granger entre CE, TCE e ECO2; Direita: Causalidade de Granger entre CER, TCE e ECO2	33
Figura 2 – Esquerda: - Causalidade de Granger entre DP, TCE e ECO2; Direita: - Causalidade de Granger entre AP, TCE e ECO2	34
Figura 3 - Causalidade de Granger entre DF, TCE e ECO2	35

Índice Tabelas

Tabela 1 - Quadro resumo da literatura existente.....	14
Tabela 2 - Fórmulas de cálculo das variáveis independentes	18
Tabela 3 - Análise descritiva dos dados.....	19
Tabela 4- Correlações entre as variáveis.....	20
Tabela 5 - Teste de raízes unitárias	23
Tabela 6 – Resultados das estimações: equações 1 a 4.....	25
Tabela 7 – Resultados das estimações: equações 5 a 8.....	26
Tabela 8 – Resultados das estimações: equações 9 a 12.....	27
Tabela 9 – Resultados das estimações: equações 13 a 16.....	28
Tabela 10 – Resultados das estimações: equações 17 a 20.....	28
Tabela 11 – Resultados das estimações: equações 21 a 24.....	29
Tabela 12 – Resultados das estimações: equações 25 a 28.....	29
Tabela 13 – Resultados das estimações: equações 29 a 32.....	30
Tabela 14 – Resultados das estimações: equações 33 a 36.....	31
Tabela 15 – Resultados das estimações: equações 37 a 40.....	31
Tabela 16 – Resultados das estimações: equações 41 a 42.....	32
Tabela 17 - Resumo da validação de hipóteses em estudo	37
Tabela 18 - Estatística descritiva: Alemanha.....	49
Tabela 19 - Estatística descritiva: Bélgica.....	49
Tabela 20 - Estatística descritiva: Dinamarca.....	49
Tabela 21 - Estatística descritiva: Eslováquia	50
Tabela 22 - Estatística descritiva: Espanha.....	50
Tabela 23 - Estatística descritiva: Estónia	50
Tabela 24 - Estatística descritiva: Finlândia	51
Tabela 25 - Estatística descritiva: França	51
Tabela 26 - Estatística descritiva: Grécia.....	51
Tabela 27 - Estatística descritiva: Holanda.....	52
Tabela 28 - Estatística descritiva: Hungria	52
Tabela 29 - Estatística descritiva: Itália	52
Tabela 30 - Estatística descritiva: Letónia	53
Tabela 31 - Estatística descritiva: Lituânia	53
Tabela 32 - Estatística descritiva: Malta.....	53
Tabela 33 - Estatística descritiva: Polónia	54
Tabela 34 - Estatística descritiva: Portugal	54
Tabela 35 - Estatística descritiva: Reino Unido	54
Tabela 36 - Estatística descritiva: República Checa.....	55
Tabela 37 - Estatística descritiva: Suécia.....	55

Lista Acrónimos

ARDL - Autoregressive-Distributed Lag

CO2 – Dióxido de Carbono

EKC – Curva ambiental de Kuznets (Environmental Kuznets Curve)

MENA – Médio Oriente e Norte de África

OCDE – Organização para a cooperação e Desenvolvimento Económico

PVAR – Panel Vector Autoregression

PIB – Produto Interno Bruto

UE – União Europeia

VECM – Vector Error Correction Model

1. Introdução

Está bem documentado na literatura que existe uma relação entre o crescimento económico e a poluição, traduzindo-se nas emissões de CO₂ causadas por via do crescimento económico (Kuznets, 1955). Desde 1955, ano em que Kuznets afirma que a relação entre o crescimento económico e as emissões de dióxido de carbono é em forma de U invertido, o tema tornou-se importante no meio económico. Nos anos recentes, a análise da chamada curva ambiental de Kuznets (EKC – *Environmental Kuznets Curve*) tem vindo a evoluir e a tomar novas proporções. A hipótese EKC sugere que o desenvolvimento económico inicialmente leva a uma deterioração do meio ambiente, mas depois de um certo nível de crescimento económico, uma sociedade começa a melhorar a sua relação com o meio ambiente e os níveis de degradação ambiental acabam por diminuir, muito fruto do desenvolvimento e progresso tecnológico. Neste contexto de forma de U invertido entre o crescimento económico e a degradação ambiental, podemos inferir que o crescimento económico acaba por ser bom para o meio ambiente. Todavia, existem autores que criticam esta visão de Kuznets argumentando que não há garantia de que o crescimento económico levará a um melhor ambiente, pois na realidade o oposto é frequentemente o caso. No mínimo, esta relação requer uma política e atitudes muito direcionadas para garantir que o crescimento económico seja compatível com um ambiente melhorado.

Na literatura encontramos diversos estudos que relacionam o crescimento económico com a poluição ambiental, mas estudos mais recentes têm vindo a incluir outras variáveis, e a estudar diferentes contextos em termos comparativos, para tentar explicar esta relação. Uma das variáveis mais utilizadas para ajudar a explicar as emissões de CO₂ é o consumo de energia (p.ex., Moutinho, Varum, & Madaleno, 2017). No entanto, encontramos na literatura muitos outros indicadores, como o consumo de energia renovável, o desenvolvimento financeiro, abertura comercial, combustíveis, globalização, urbanização e ainda aumento populacional (p.ex., Burakov & Freidin (2017); Antonakakis, Chatziantoniou, & Filis (2017); Balsalobre-Lorente, Shahbaz, Roubaud, & Farhani (2018), entre outros).

Moutinho et al. (2017) confirmam a hipótese da EKC para Portugal e Espanha no seu estudo para o período de 1975 a 2012 para 13 setores diferentes, incluindo como variável explicativa desta relação o consumo de energia. Contudo, registam também uma relação em forma de N invertido entre o crescimento económico e as emissões de dióxido de carbono. No estudo de Balsalobre-Lorente et al. (2018) em que se encontra em análise as emissões de dióxido de carbono, o PIB *per capita*, o consumo de eletricidade renovável, a abertura comercial, a abundância de recursos naturais e a inovação energética, são encontrados resultados que comprovam a existência de uma

curva em forma de N que explica as emissões de CO₂. Antonakakis, Chatziantoniou, & Filis (2017) reúnem um grupo de 106 países, separados em subgrupos de países com baixos, médios baixos, médios altos e altos rendimentos. Aqui os resultados apontam para a conclusão de que o consumo de energia renovável é favorável ao crescimento económico, e que o crescimento económico aumenta as emissões de dióxido de carbono, de modo que não lhes é possível concluir que os países desenvolvidos possam realmente sair da poluição ambiental.

Embora existam estes e outros estudos sobre a hipótese EKC, até à data, encontramos na literatura empírica deste tema diferentes conclusões sobre esta relação. É possível ainda verificar que esta inclusão de variáveis capazes de explicar esta relação (EKC) tem sido feita de forma gradual e verificamos que as diferentes conclusões deixam antever uma possibilidade de estudo adicional. Verifica-se que, tanto quanto foi possível aferir, não existe até à data na literatura um estudo mais completo que combine numa só análise as emissões de dióxido de carbono, como variável dependente, com o crescimento económico, consumo de energia, consumo de energia renovável, desenvolvimento financeiro, dependência do petróleo e aumento populacional como variáveis explicativas e de modo simultâneo. Mais ainda, o nosso estudo espera ser um contributo adicional para uma já vasta literatura existente, no sentido em que para além da inclusão destas variáveis em simultâneo, este estudo serve para combater esta lacuna na literatura e explicar de uma forma mais completa o aumento das emissões de CO₂. Adicionalmente, procuramos explorar esta hipótese com inclusão de variáveis adicionais explicativas no contexto da União Europeia (UE).

O objetivo principal deste estudo consiste em explorar a hipótese EKC, tentando perceber se a relação entre o crescimento económico e a poluição ambiental é de facto em forma de U invertido ou se esta relação existe em forma de U, em forma de N ou N invertido, ou ainda, a possibilidade desta relação não existir. Dado que a União Europeia (UE) é uma das regiões mais reguladas e desenvolvidas do mundo, serão usados neste estudo 20 estados membros¹ da UE para o período compreendido entre 1997 e 2015. Dados relativos às emissões de dióxido de carbono (variável dependente), crescimento económico, consumo de energia, consumo de energia renovável, desenvolvimento financeiro, dependência do petróleo e aumento populacional serão os usados neste estudo (variáveis independentes), onde para além dos resultados obtidos por aplicação do modelo em painel de vetor autorregressivo (PVAR – *Panel Vector Autoregressive Models*), será ainda analisada a causalidade de Granger entre todas as variáveis para melhor explicação dos resultados e observação da capacidade de influência das variáveis em estudo.

¹ Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Itália, Letónia, Lituânia, Malta, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia

Os resultados permitiram confirmar a existência da EKC (uma relação em forma de U invertido entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico) na forma mais simples. Estes parecem indicar que o consumo de energia renovável e o aumento populacional são fatores que influenciam negativamente as emissões CO₂, ou seja, reduzem a degradação ambiental, assim como a dependência do petróleo e o desenvolvimento financeiro (impacto sobre as emissões de CO₂ é negativo em termos de sinal de coeficiente, apesar de não significativo), enquanto o consumo de energia desempenha o papel inverso no que toca à poluição ambiental, isto é, o seu contributo para a emissão de dióxido de carbono revela-se negativo, considerando que aumenta as emissões, ou seja, aumenta a degradação ambiental (apesar de não significativo em grande parte dos casos).

Este trabalho apresenta-se de seguida dividido nas seguintes secções. Na secção 2 apresentamos uma breve revisão da literatura. Já na secção 3 apresentamos os dados utilizados neste estudo, quais as suas origens e quais as formas utilizadas para as suas determinações. De seguida, na secção 4 teremos presente qual a metodologia aplicada neste estudo e justificação da sua escolha. Esta secção permite também compreender melhor os resultados empíricos expostos na secção 5.

2. Revisão da Literatura

2.1. Environmental Kuznets Curve (EKC)

A EKC permite analisar qual o efeito de diferentes fatores nas emissões de CO₂. Este é o método mais usado para analisar a relação de longo prazo entre o impacto ambiental e o crescimento económico (Dinda, 2004). Segundo várias evidências, alguns poluentes seguem um padrão em forma de U invertido em relação ao rendimento dos países (Andreoni, & Levinson, 2001). Isto significa que à medida que temos um rendimento crescente, a poluição também aumenta, até um certo ponto. Quando o nível de rendimento atinge o referido ponto, a poluição diminui (Agras, & Chapman, 1999). A designação atribuída a esta curva deve-se ao nível de semelhança com a relação entre o nível de desigualdade e o rendimento *per capita* estudada por Kuznets (1955).

Um dos motivos que poderão justificar esta relação de U invertido poderá estar relacionado com os bens de luxo, ou seja, considerando a qualidade ambiental um bem de luxo, a procura por esse bem aumenta quando temos rendimentos mais elevados, estando a população disposta a pagar por um ambiente limpo em maior proporção do que o rendimento. Uma outra justificação está relacionada com a terciarização da economia, isto é, quanto mais desenvolvida é uma economia, maior será o volume de prestação de serviços, diminuindo assim a produção, e, dado que o setor terciário emite poucos poluentes, isso conduz a uma diminuição da poluição. Podemos ainda justificar esta relação com o facto de que quando existe um elevado nível de desenvolvimento económico, presenciamos também um aumento do progresso tecnológico que permitem a diminuição das pressões ambientais (Roca, Padilla, Farré, & Galletto, 2001; Dinda, 2004)

No entanto, existem também estudos que encontram uma relação em forma de N entre o rendimento e as emissões de CO₂. Balsalobre-Lorente et al. (2018) após estudarem os 5 países criadores da UE² concluíram que o aumento do rendimento causa um aumento da poluição numa fase inicial, e, quando atinge determinado nível isso influencia negativamente as emissões de CO₂. Contudo, níveis mais elevados de crescimento económico levam a um aumento da poluição, voltando a inverter o sentido com níveis de rendimento ainda mais elevados.

Existem algumas limitações associadas à hipótese EKC e que têm também vindo a ser documentadas pela literatura empírica relacionada. Primeiro de tudo, a evidência empírica é mista, como podemos ler mais à frente nesta secção, pois não há garantia de que o crescimento económico provocará futuramente diminuição da poluição. Segundo, a poluição não é simplesmente uma função do rendimento, mas de muitos outros fatores que interagem. Por

² Alemanha, França, Itália, Espanha e Reino Unido.

exemplo, a eficácia da regulamentação governamental, o desenvolvimento da economia, os níveis populacionais, entre outros e daí o contributo da presente dissertação que procura incluir múltiplos fatores que têm vindo a ser apontados como capazes de influenciar esta relação entre crescimento económico e ambiente. Terceiro, a poluição é um fenómeno global e se muitas economias desenvolvidas sofrem reduções de progressões ao nível da indústria e no crescimento do setor dos serviços, estas ainda estão a importar bens de países em desenvolvimento, sendo que os últimos podem estar a exportar degradação ambiental, por usos menos conscientes de recursos para conseguirem crescer.

Quarto, tem sido identificada na literatura uma forma de N para a relação entre crescimento económico e ambiente, contrariamente à forma de U invertido defendida pela hipótese EKC (Grossman & Krueger, 1991). Alguns economistas defendem que há um grau de degradação ambiental reduzida pós-industrialização, mas se a economia continuar a expandir-se, inevitavelmente alguns recursos continuarão a ser usados em grande escala, não havendo garantia de que os níveis de degradação ambiental a longo prazo continuarão a diminuir. Finalmente, são normalmente os países com maior PIB (*proxy* para o crescimento económico) que apresentam também os maiores níveis de emissão de CO₂. Logo, a relação entre níveis de rendimento e degradação ambiental pode ser por si só bastante fraca, e compete ao investigador adicionar outros fatores a esta relação capazes de nos ajudar a entender de que fatores a mesma depende. É sim possível ter crescimento económico e simultaneamente uma melhoria ambiental, mas isso requer um conjunto de políticas e disposições para ajudar a produzir energia e bens de modo mais ecológico. Por todas estas afirmações e observações formulamos a nossa hipótese 1.

H1a: Há evidência da hipótese EKC nos países da UE.

H1b: Existe evidência de uma relação na forma de N entre crescimento económico e degradação ambiental nos países da UE.

Logo, assim como a relação entre o consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono, também o crescimento económico causa um aumento das emissões de CO₂ (De Bruyn, Van Den Bergh, & Opschoor, 1998). Muitos estudos afirmam que o referido é afirmativo até um ponto de viragem, ou seja, quando o crescimento económico atinge determinado nível, o aumento do mesmo diminui a emissão de CO₂, sendo um maior crescimento económico a melhor forma de diminuir a poluição ambiental. No entanto, esta diminuição da poluição pode ser provocada pelo aumento do desenvolvimento tecnológico, por exemplo, e não diretamente pelo crescimento económico.

Mazur, Phutkaradze, & Phutkaradze (2015) analisaram até que ponto o aumento do crescimento económico provoca uma diminuição da poluição para o período compreendido entre 1992 e 2010. Contudo, não conseguiram confirmar empiricamente a forma em U invertido da EKC para os 28 estados-membros da UE³. No entanto, concluíram que os 23.000 USD de PIB *per capita* é o ponto de viragem, ou seja, a partir desse valor presenciamos uma diminuição das emissões de CO₂. Os mesmos autores analisaram também a curva ambiental de *Kuznets* para os 16 países mais antigos da UE e com maior riqueza, mas neste estudo já foi possível verificar a hipótese de EKC. O mesmo resultado não foi possível para todos os países da UE devido ao facto de estes não se encontrarem em níveis de desenvolvimento elevados o suficiente.

Esta relação entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ em forma de U invertido poderá estar relacionada com o aumento da preocupação por parte das pessoas com o meio ambiente, com o aumento do seu rendimento, ou ainda com o desenvolvimento tecnológico (Balsalobre-Lorente et al., 2018). Antonakakis et al. (2017) analisam a inter-relação dinâmica entre produto – energia – ambiente através de um painel vetor autorregressivo (PVAR) e de funções resposta impulso. Usaram dados de consumo de energia, emissões de CO₂ e PIB real para 106 países divididos por diferentes grupos de rendimento para o período de 1971-2011. Concluem por efeitos heterogéneos dos vários tipos de consumo de energia que consideraram sobre o crescimento económico e as emissões nos vários grupos de países. Detetaram ainda uma relação de causalidade bidirecional entre o crescimento económico e o consumo de energia, mas evidenciaram que não existe evidência estatisticamente significativa de que o consumo de energia renovável conduz ao crescimento económico. Apresentam também evidências de que o processo contínuo de crescimento económico agrava o fenómeno de emissões de CO₂. Questionam assim a eficácia das políticas governamentais para promover o consumo de energia renovável como forma de crescimento sustentável, pois não conseguem concluir a favor do crescimento dos países desenvolvidos sem que esse crescimento promova maior poluição ambiental.

2.2. O consumo de energia e a Curva Ambiental de Kuznets

O consumo de energia pode ser interpretado como indicador da pressão ambiental (Pablo-Romero, & De Jesús, 2016). A energia é um *input* fundamental quer na produção quer no consumo, sendo a base do crescimento económico (Özokcu, & Özdemir, 2017). Os ambientalistas afirmam que o crescimento económico tem devastado o ambiente especialmente com a maior procura por

³ Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Roménia e Suécia.

energia (consumo de energia superior), mas os economistas defendem que estes problemas podem ser resolvidos automaticamente no longo prazo com o crescimento económico, mesmo que este afete o ambiente no início, tornando a causa do problema a solução simultaneamente (Özokcu, & Özdemir, 2017).

Segundo Ang (2007) o consumo de energia influencia determinantemente as emissões de CO₂. Kasman, & Duman (2015) estudaram a relação entre várias variáveis em novos estados-membros da UE e países candidatos. Entre estas variáveis estavam o consumo de energia e a emissão de CO₂ *per capita*. O estudo concluiu que o consumo de energia exerce uma influência positiva sobre as emissões de dióxido de carbono. Wang, Zhou, Zhou, & Wang (2011) concluem também que existe causalidade bidirecional entre o consumo de energia e as emissões de CO₂ na China no período de 1995 a 2007. O artigo afirma que a diminuição do consumo de energia, nomeadamente da energia fóssil seria uma forma de reduzir as emissões de CO₂, aumentando o consumo de energias limpas. Também Arouri, Ben Youssef, M'henni, & Rault (2012) analisaram a relação entre o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono, para os países MENA⁴ tendo obtido também eles resultados positivos.

Já Narayan, & Popp (2012) estudaram a relação entre o consumo de energia e o crescimento económico em 93 países. O estudo permitiu concluir que, a longo prazo, o consumo de energia exerce também um efeito positivo sobre o crescimento económico nos 20 países estudados da Europa⁵. No sentido inverso, Narayan, & Popp (2012) concluíram que quando o crescimento económico aumenta o consumo de energia diminui. Para os restantes países em análise, os autores verificaram resultados mistos, isto é, para alguns países, como o Bangladesh e a Índia, o aumento do consumo de energia leva a uma diminuição do PIB enquanto para outros países, como o Chipre e a Argentina, o consumo de energia tem uma influência positiva no crescimento económico. Relativamente à influência do aumento do PIB no consumo de energia, verificaram em todos os países uma relação negativa à exceção do Camboja onde verificaram que o crescimento económico influencia positivamente o consumo de energia.

Na literatura podemos encontrar outros resultados entre a relação do consumo de energia e o crescimento económico. Chontanawat, Hunt, & Pierse (2008) analisaram 100 países e concluem que a redução do consumo de energia teria um maior impacto no crescimento económico nos países desenvolvidos do que nos países em desenvolvimento pois a causalidade entre estes fatores é mais prevalente nos países pertencentes à OCDE⁶. Concluindo, o consumo de energia terá uma

⁴ Países do Médio Oriente e do Norte de África.

⁵ Áustria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Finlândia, França, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Malta, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia e Reino Unido.

⁶ Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

influência positiva na relação entre o crescimento económico e as emissões de CO₂, contribuindo para a formação da primeira parte da curva ambiental de Kuznets, e que nos permite formular a nossa hipótese 2.

H2a: Existe uma relação direta entre o consumo de energia e a degradação ambiental.

H2b: Existe uma relação direta entre o consumo de energia e o crescimento económico.

2.3. O desenvolvimento financeiro e a Curva Ambiental de Kuznets

Apenas agora é que o impacto do desenvolvimento financeiro tem começado a ganhar a atenção da investigação empírica (Esmaeilpour Moghadam & Dehbashi, 2017). Podemos encontrar muitas justificações para a necessidade da sua inclusão pois: 1) o desenvolvimento financeiro ao providenciar os capitais necessários às atividades industriais pode conduzir a mais poluição ambiental (Sadorsky, 2010; Salahuddin, Alam, Ozturk, & Sohag, 2018); 2) o desenvolvimento financeiro pode providenciar mais recursos financeiros com menos custos financeiros para, por exemplo, projetos ambientais (Esmaeilpour Moghadam, & Dehbashi, 2017; Salahuddin et al., 2018; Tamazian & Bhaskara Rao, 2010); 3) os intermediários financeiros podem obter acesso a tecnologias amigas do ambiente, que podem promover um melhor ambiente (Esmaeilpour Moghadam & Dehbashi, 2017; Tamazian, Chousa, & Vadlamannati, 2009).

Além do referido, o desenvolvimento financeiro pode levar também a um maior crescimento económico pois taxas de empréstimo privado mais baixas permitem que haja uma maior compra de casas, carros e bens com maior durabilidade que leva a uma maior produção destes bens, que por sua vez, poderá levar a uma maior poluição (Dogan, & Turkekul, 2016). Cole, & Elliott (2005) encontram resultados que demonstram que o aumento do investimento direto financeiro leva a um aumento da poluição ambiental. Por outro lado, existem autores, como Tamazian et al. (2009) que concluíram, numa análise aos países BRIC⁷ e EUA que um maior desenvolvimento financeiro leva a uma diminuição do nível de emissão de CO₂, concluindo que esta é uma variável fundamental para a diminuição da poluição.

Tamazian et al. (2010), no seu estudo de 24 países para os anos de 1993 a 2004, verificaram a existência da EKC e afirmam também que o desenvolvimento financeiro tem um efeito negativo nas emissões de CO₂. Esta relação pode ser causada pelo facto do desenvolvimento financeiro permitir mobilizar recursos que levam à diminuição da poluição ambiental. A mesma relação foi

⁷ Brasil, Rússia, Índia e China

também confirmada na Indonésia para os anos de 1975 a 2011 (Shahbaz, Hye, Tiwari, & Leitão, 2013).

Estudos concluem também que o desenvolvimento financeiro pode aumentar o financiamento a indústrias que por sua vez podem prejudicar o meio ambiente. Salahuddin et al. (2018) analisam empiricamente os efeitos do crescimento económico, do consumo de eletricidade, do investimento direto estrangeiro e do desenvolvimento financeiro sobre as emissões de CO₂ no Kuwait, com dados anuais de 1980-2013. Usaram o método ARDL (*Autoregressive-Distributed Lag*) e causalidade de Granger VECM (*Vector Error Correction Model*). Concluem que o crescimento económico, o consumo de eletricidade e o investimento direto estrangeiro estimulam as emissões de CO₂ no curto e no longo prazo.

Pegando também no desenvolvimento financeiro, Esmaeilpour Moghadamet et al. (2017) avaliam os efeitos do desenvolvimento financeiro e o comércio na qualidade ambiental do Irão no período de 1970 a 2011 usando o método ARDL. Estudaram ainda a hipótese EKC usando vários poluentes. Os autores demonstram que o desenvolvimento financeiro acelera a degradação ambiental, mas observam que um aumento na abertura ao comércio reduz os danos ambientais. Esta influência positiva deu-se devido ao aumento do financiamento às indústrias ineficientes na proteção do ambiente. Os autores aconselham a que sejam tomadas medidas de incentivos ao cuidado do meio ambiente, nomeadamente através da diminuição de juros por parte dos bancos a empresas que apostem em tecnologias de eficiência energética. Por fim, os autores não concluem a favor a existência da EKC no Irão. Já Jalil, & Feridun (2011) afirmam que, na China, o desenvolvimento financeiro teve um impacto negativo nas emissões de CO₂.

Na literatura podemos ainda encontrar outros estudos que relacionam o desenvolvimento financeiro com o crescimento económico. Esmaeilpour Moghadam et al. (2017) verificaram, na China, uma relação positiva entre o desenvolvimento financeiro e o crescimento económico. Também Boysen, Briskorn, & Emde (2016) encontraram uma relação positiva entre o desenvolvimento financeiro e o crescimento económico em situação de normalidade, tendo encontrado uma relação inversa em períodos de crise. Todas estas evidências conduzem-nos à formulação da nossa hipótese 3.

H3a: Existe uma relação inversa entre desenvolvimento financeiro e degradação ambiental.

H3b: Existe uma relação direta entre o desenvolvimento financeiro e o crescimento económico.

2.4. A dependência do petróleo e a Curva Ambiental de Kuznets

As consequências do aquecimento global e as emissões de CO₂ têm levantado preocupações crescentes com o ambiente (Yazdi & Shakouri, 2018). Crescem também as preocupações relacionadas com o impacto do consumo e a dependência crescente dos produtos petrolíferos e de que modo estas vão condicionar o crescimento económico (Burakov et al., 2017; Salahuddin et al., 2018).

Estudos recentes provam que a combustão de energias fósseis é um dos maiores causadores do aumento de emissões de CO₂. No Irão, o aumento do consumo de energias derivadas do petróleo leva a uma maior emissão de dióxido de carbono, tal como seria de esperar. No entanto, o mesmo estudo encontra uma relação positiva entre o crescimento económico e o consumo de combustíveis fósseis e produtos petrolíferos, não tendo encontrado a relação inversa (Lotfalipour, Falahi, & Ashena, 2010). Também na China se verifica que a grande parte das emissões de CO₂ é devida à combustão de combustíveis fósseis, aliado à fabricação de cimento (Gregg, Andres, & Marland, 2008). Num estudo realizado para a Espanha, podemos verificar que o aumento do preço do petróleo leva à diminuição da poluição por meio de emissões de dióxido de carbono (Balaguer, & Cantavella, 2015).

É ainda possível encontrar literatura referente à relação entre as flutuações do preço do petróleo e o PIB. Rautava (2004), após estudar esta relação na Rússia, concluiu que o aumento dos preços do petróleo internacional permite que o nível do PIB atinja valores mais elevados. No entanto, conclui também que este aumento de preços leva à diminuição da receita fiscal do Estado Russo. (Jiménez-Rodríguez & Sánchez, 2005) realizaram um estudo para alguns países pertencentes à OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) onde verificaram que o aumento do preço do petróleo tem um maior impacto no crescimento económico do que a sua diminuição. Além do mais, concluem também que, em todos os países importadores de petróleo, à exceção do Japão, a relação entre a variação de preços do petróleo e o PIB é inversa.

Em suma, a dependência do petróleo é também um dos fatores determinantes da formação da curva ambiental de Kuznets pois quando uma economia se encontra em fase de crescimento inicial tem uma grande dependência do petróleo, e o seu consumo leva a maiores emissões de CO₂. Numa fase posterior, as economias encontram alternativas a esta energia que permitem a redução de emissões de CO₂, como iremos verificar no próximo subcapítulo. Deste modo definimos a hipótese 4.

H4: A elevada dependência do petróleo tem uma relação direta com a degradação ambiental.

2.5. O consumo de energias renováveis e a Curva Ambiental de Kuznets

O uso de energias renováveis estimula a economia, reforça a segurança energética, diversifica o consumo de energia e permite reduzir a dependência energética (Yazdi, & Shakouri, 2018). Nos países em desenvolvimento, o consumo de energias renováveis conduz a uma redução dos níveis de emissão de CO₂ (Hu, Xie, Fang, & Zhang, 2018). A mesma relação foi encontrada por vários autores, nomeadamente Balsalobre-Lorente et al. (2018), Inglesi-Lotz, & Dogan (2018) e Sinha, & Shahbaz (2018) para os 5 países fundadores da UE, África Subsariana e Índia, respetivamente. Esta relação verifica-se pelos motivos óbvios, pois dado que as energias renováveis não implicam combustão, logo, não emitem dióxido de carbono em níveis tão elevados como os combustíveis fósseis.

Importa ainda destacar alguma literatura que evidencia a relação entre as energias renováveis e o crescimento económico, dado que a relação entre a degradação ambiental e o crescimento económico são a base da hipótese EKC. Mathiesen, Lund, & Karlsson (2011) afirmam que as energias renováveis levam a um maior Produto Interno Bruto (PIB) pela possibilidade de criação de empregos, aumento das exportações ou ainda os benefícios que trarão em termos de saúde. Esta relação é comprovada, no curto e longo prazo, em vinte países da OCDE para o período compreendido entre os anos de 1985 e 2005 (Apergis, & Payne, 2010). Devemos ainda realçar que no mesmo estudo os autores verificaram uma relação de causalidade entre o PIB e as energias renováveis, ou seja, é fulcral que exista crescimento económico para o contínuo consumo de energias renováveis.

Shahbaz, Zeshan, & Afza (2012) usaram modelos de séries temporais multivariadas (testes de raízes unitárias, ARDL e VECM Granger), com dados do Paquistão no período de 1972-2011 para analisar a correlação entre energia renovável, não renovável, o consumo de energia e o crescimento económico. Os autores concluem que as energias renováveis promovem o crescimento económico. A mesma conclusão é obtida por Sbiba, Shahbaz, & Hamdi (2014), onde os autores também descobrem que o crescimento económico e o uso de energia renovável estão positivamente correlacionados. Posto isto, devemos concluir que a energia renovável é mais um fator crucial para a formação da EKC, o que nos leva a formular a hipótese 5.

H5: Existe uma relação inversa entre o consumo de energia renovável e as emissões de CO₂.

2.6. O aumento populacional e a Curva Ambiental de Kuznets

A dimensão da população é também um dos fatores estudados na literatura recente para analisar a EKC. Nos EUA é encontrada uma relação positiva, ou seja, a população influencia

positivamente as emissões de CO₂ tanto no curto como no longo prazo (Dogan, & Turkekul, 2016). Por outro lado, encontramos na literatura artigos que verificaram uma relação negativa e positiva no mesmo estudo, considerando diferentes países. Exemplificando, num estudo efetuado aos novos países industrializados, Sharif Hossain (2011) concluiu que, no longo prazo, a população exerce um impacto positivo sobre a emissão de CO₂ no Brasil, China, Índia e Turquia e o impacto negativo foi verificado e identificado nas Filipinas, África do Sul e Tailândia (Sharif Hossain, 2011).

Henderson (2003) afirma que o aumento populacional não exerce uma grande influência sobre o crescimento económico. Bakirtas, & Akpolat (2018) encontraram uma relação positiva entre a urbanização e o rendimento, mas apenas no Quênia e no México, quando o estudo inclui, além destes dois países, a Colômbia, Índia, Indonésia e Malásia. Num estudo realizado às implicações das políticas de urbanização da China, confirma-se que o crescimento da população influencia positivamente o crescimento económico (Yang, Liu, & Zhang, 2017).

Estes diferentes resultados podem ser justificados pelo facto de mais população levar a um maior consumo de energia, que leva a uma maior emissão de carbono (Xu, & Lin, 2015; Katircioğlu, & Katircioğlu, 2018). Por outro lado, o crescimento populacional pode significar mais crianças, que pode influenciar a mentalidade dos adultos a cuidarem melhor do meio ambiente (Hart, 2013). Relativamente ao facto de a urbanização conduzir ao crescimento económico, este pode ser facilmente justificado por haver maior população para produzir e consumir, fatores que, naturalmente, influenciam o crescimento económico.

Resumindo, de modo geral, todos os estudos existentes na literatura que analisaram esta variável consideram a mesma como um fator determinante para a EKC. Segundo Katircioğlu & Katircioğlu (2018), a rápida urbanização é considerada uma força motriz por trás da mudança climática global que provavelmente levará a um aumento nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), tal como referem Xu, & Lin (2015), mas também a elevar as pressões ambientais como o consumo de energia (Zhang, & Lin, 2012). Todavia, a principal preocupação é se a urbanização exerce uma pressão para cima ou para baixo no volume do nível climático (Katircioğlu, & Katircioğlu, 2018). Os resultados de Katircioğlu, & Katircioğlu (2018) sugerem que a EKC convencional no global não surge em forma de U invertido, mas torna-se negativamente inclinada quando o desenvolvimento urbano é adicionado e apresenta a forma de U invertido quando os volumes da população total e da população rural são adicionados à relação EKC.

Recentemente, Boamah, Du, Boamah, & Appiah (2018) investigam empiricamente o efeito causal do crescimento da população urbana e do comércio internacional sobre a poluição ambiental da China, para o período de 1980 a 2014. A cointegração de *Johansen* confirmou uma associação de cointegração de longo prazo. Segundo os autores, as três variáveis mais importantes que

explicam a poluição ambiental na China, de acordo com a função de resposta ao impulso, são as importações, a urbanização e o consumo de energia. Concluem estabelecer a presença de uma curva de *Kuznets* ambiental em forma de N entre o crescimento económico e a poluição ambiental da China. Por todos os estudos aqui apresentados formulamos a nossa hipótese 6.

H6: Existe uma relação direta entre o crescimento populacional e a degradação ambiental.

Na *tabela 1* apresenta-se um resumo de alguns dos artigos existentes na literatura em torno do tema sobre a Curva Ambiental de Kuznets.

Tabela 1 - Quadro resumo da literatura existente

Artigo	Países	Período	Variáveis	Metodologia	Principais Resultados
(Mazur et al., 2015)	28 estados membros da União Europeia	1992-2010	Emissões de dióxido de carbono <i>per capita</i> e PIB <i>per capita</i>	Relacionamento polinomial padrão. Dados em painel	A curva EKC em forma de U invertido não é encontrada para todos os países. Existe um ponto de viragem para as emissões de CO ₂ quando o PIB <i>per capita</i> atinge os 23 000 USD. Verifica-se a EKC apenas para os primeiros 16 estados membros.
(Moutinho et al., 2017)	Portugal e Espanha	1975-2012	Emissões de CO ₂ e consumo de energia em 13 setores	Dados em painel; VAB; Testes de raiz unitária	Encontram evidências de um EKC invertido em forma de U. No entanto, registam também outras funções em forma de N invertido que explicam a relação entre crescimento económico e emissões. Os resultados empíricos indicam diferenças específicas entre os setores português e espanhol.
(Balsalobre-Lorente et al., 2018)	Alemanha, França, Itália, Espanha e Reino Unido	1985-2016	Emissões de dióxido de carbono, PIB <i>per capita</i> , consumo de eletricidade renovável, abertura comercial, abundância de recursos naturais e inovação energética	Regressão OLS simples da EKC	Existe uma relação em forma de N entre o crescimento económico e as emissões de CO ₂ . O consumo de eletricidade renovável, os recursos naturais e a inovação diminuem as emissões de CO ₂ , enquanto a abertura comercial e a interação entre o crescimento económico e o consumo de eletricidade renovável contribuem para a degradação do meio ambiente.
(X. Yang, Lou, Sun, Wang, & Wang, 2017)	Rússia	1998-2013	Emissões do consumo de energia, emissões do processo industrial, emissões de animais de estimação e emissões fugitivas	Diretrizes IPCC 2006; EKC	Verifica-se a EKC em forma de U invertido. O ponto de inflexão da curva foi estimado em cerca de 10695,75 USD (2005). De acordo com as estimativas, as emissões de GEE relacionadas com a economia atingirão o ponto de viragem em 10 anos se a taxa de crescimento económico da Rússia permanecer estável.

(Ahmad et al., 2017)	Croácia	1992 Q1 - 2011 Q1	Emissões de dióxido de carbono e PIB	Autoregressive Distributed Lag (ARDL); método VECM	A EKC na forma de U invertido é encontrada. A causalidade de Granger mostra uma causalidade bidirecional entre as emissões de CO ₂ e o crescimento económico no curto prazo e uma causalidade unidirecional do crescimento económico para as emissões de CO ₂ no longo prazo.
Artigo	Países	Período	Variáveis	Metodologia	Principais Resultados
(Antonakakis et al., 2017)	Grupo de 106 países classificados em diferentes grupos de rendimento: baixo, médio baixo, médio alto e alto	1971-2011	PIB real <i>per capita</i> , emissões de CO ₂ , consumo de energia, consumo de electricidade, combustível, renováveis, gas e carvão	Painel VAR	A causalidade entre o crescimento económico total e o consumo de energia é bidirecional. Não existe evidência estatisticamente significativa de que o consumo de energia renovável, em particular, é propício ao crescimento económico. O processo contínuo de crescimento agrava as emissões de gases de efeito estufa. Não é possível concluir que os países desenvolvidos possam realmente sair da poluição ambiental.
(Özokcu & Özdemir, 2017)	26 países da com rendimentos altos da OCDE; 52 países em fase de crescimento	1980-2010	Emissões de CO ₂ , PIB <i>per capita</i> e uso de energia <i>per capita</i>	Estimação de dados em painel de erros padrão de Driscoll-Kraay	Os resultados apresentam uma relação entre o crescimento económico e a poluição ambiental em forma de N e em forma de N invertido, não suportando a hipótese da EKC.
(Salahuddin et al., 2018)	Kuwait	1980-2013	Emissões de CO ₂ <i>per capita</i> , consumo de energia <i>per capita</i> , PIB real <i>per capita</i> , desenvolvimento financeiro e investimento direto estrangeiro como percentagem do PIB	Séries temporais para o período; Teste de limites da regressão autorregressiva distribuída (ARDL)	Crescimento económico, consumo de eletricidade e Investimento Direto Estrangeiro (IDE) estimulam as emissões de CO ₂ no curto e longo prazo. A análise de causalidade do VECM Granger revela que o IDE, o crescimento económico e o consumo de eletricidade geraram fortes emissões de CO ₂ .
(Esmailpour Moghadam & Dehbashi, 2017)	Irão	1970-2011	Emissões de CO ₂ , desenvolvimento financeiro e trocas comerciais	Modelo autorregressivo distribuído (ARDL)	O desenvolvimento financeiro acelera a degradação do meio ambiente; o aumento da abertura comercial reduz os danos no meio ambiente no Irão. Não se verifica a hipótese da EKC.
(Burakov & Freidin, 2017)	Rússia	1990-2014	Consumo de energia renovável, desenvolvimento financeiro e crescimento económico	Séries temporais; Modelo VEC	Existe causalidade de Granger bidirecional entre crescimento económico e desenvolvimento financeiro na Rússia, enquanto o consumo de energia renovável não causa crescimento económico ou desenvolvimento financeiro. O crescimento económico causa mudanças no consumo de energia renovável.
(Shahbaz et al., 2013)	Indonésia	1975 Q1 - 2011 Q4	PIB real, consumo de energia <i>per capita</i> , crédito doméstico como percentagem do PIB, abertura comercial a preços constantes e emissões de CO ₂	Modelo autorregressivo distribuído (ARDL)	O crescimento económico e o consumo de energia aumentam as emissões de CO ₂ enquanto o desenvolvimento financeiro e a abertura comercial diminuem estas emissões.
(Yazdi & Shakouri, 2018)	Irão	1992 Q1 - 2014 Q4	Crescimento económico, energia renovável, consumo de energia, formação de capital fixo, globalização, abertura comercial e urbanização	Modelo autorregressivo distribuído (ARDL)	A energia renovável e a globalização estão positivamente correlacionadas com o crescimento económico. Todas as variáveis estão co-integradas e existe uma relação entre as variáveis no longo prazo.

(Kasman & Duman, 2015)	Bulgária, Croácia, República Checa, Estónia, Hungria, Islândia, Lituânia, Letónia, Macedónia, Malta, Polónia, Roménia, República Eslovaca e Eslovénia	1992-2010	Consumo primário total <i>per capita</i> , PIB <i>per capita</i> e emissões de CO ₂ <i>per capita</i>	Painel de testes de raiz unitária, painel de cointegração e painel de testes de causalidade	Evidências suportam a hipótese da EKC. Existe uma relação de causalidade de curto prazo unidirecional das variáveis consumo de energia, abertura comercial e urbanização para as emissões de CO ₂ .
------------------------	---	-----------	--	---	--

Fonte: Elaboração própria.

3. Dados

Para a realização deste trabalho selecionamos países da União Europeia para os quais foi possível obter séries temporais com a maior longevidade, para que tivéssemos não só um maior número de dados como também uma maior consistência nos resultados. Para tal, recolhemos dados da Bélgica, República Checa, Dinamarca, Alemanha, Estónia, Grécia, Espanha, França, Itália, Letónia, Lituânia, Hungria, Malta, Holanda, Polónia, Portugal, Eslováquia, Finlândia, Suécia e Reino Unido para o período compreendido entre 1997 e 2015.

Todos os dados foram obtidos a partir do Eurostat⁸ por ser a base de dados com maiores detalhes e mais completa, relativamente à necessidade de dados para o presente estudo, sobre os países pertencentes à União Europeia, no contexto de séries anuais que foram necessárias recolher.

Como variável dependente representativa da degradação ambiental recolheram-se dados sobre as emissões de CO₂. As emissões de CO₂ encontram-se medidas em milhares de toneladas, tal como Moutinho et al. (2017). As emissões de CO₂ serão utilizadas em termos *per capita*, onde para o efeito se dividiu o volume anual das mesmas pelo total da população de cada país e em cada ano.

Relativamente às variáveis independentes foram recolhidas as variáveis necessárias para conseguirmos dar resposta das hipóteses 1 a 6 enunciadas na secção anterior. Para este estudo foi então necessário recolher dados relativamente ao consumo de energia. Os dados foram recolhidos em milhares de toneladas de petróleo equivalente, tal como os autores Ang (2007) e Apergis e Payne (2010) usaram, sendo que neste trabalho dividimos o consumo de energia pelo PIB *per capita*, por ano e por país.

Como variável representativa do crescimento económico, utilizamos dados relativos ao Produto Interno Bruto anual (PIB), tendo-se procedido à transformação dos dados para obter a taxa de crescimento do PIB. Para o efeito foi utilizada a fórmula $\frac{PIB_{pc}(n)+PIB_{pc}(n-1)}{PIB_{pc}(n-1)}$, onde *pc* refere-se a *per capita*, (*n*) respeita ao ano *n* em análise e (*n-1*) respeita ao ano anterior relativamente ao ano *n*. Este método foi utilizado por vários autores, nomeadamente Mazur et al. (2015) e Balsalobre-Lorente et al. (2018).

Relativamente à variável explicativa desenvolvimento financeiro procedemos ao tratamento de dados para que conseguíssemos obter os resultados pretendidos. Obtivemos o fluxo de crédito para o sector privado em fração do PIB, que utilizamos como *proxy*. Seguindo o exemplo de Shahbaz et al. (2013), procedemos à multiplicação do fluxo de crédito para o sector privado em fração do PIB pelo PIB e de seguida dividimos o resultado pelo Índice de Preços do Consumidor de cada ano

⁸ <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/>. Todos os dados foram recolhidos em maio de 2018.

e de cada país para assim obtermos valores reais. Por último, procedemos à subtração do valor do ano n pelo ano $n-1$ e dividimos pelo valor do ano $n-1$ para assim obtermos a taxa de crescimento uma vez que o objetivo final é obter os dados do desenvolvimento financeiro (medido pela sua taxa de crescimento).

Para obter dados representativos da dependência do petróleo, inicialmente recolhemos dados sobre as quantidades de petróleo importadas por cada país em análise, e posteriormente foram divididos estes montantes pelo total de energia consumida. Com a divisão do petróleo importado pela energia total consumida é possível determinar o nível de dependência do petróleo de cada país e em cada ano, tal como realizado no estudo do Eurostat (Poland & France, 2006).

Como anunciado antes, o consumo de energia renovável fará também parte deste estudo. Procedemos então à recolha dos dados de consumos anuais em todos os 20 países em análise, sendo que os valores recolhidos encontram-se medidos em milhares de toneladas de petróleo equivalente.

Por último, o aumento populacional foi também definido na secção anterior como uma variável fundamental para o melhoramento da análise da EKC. Para obter os dados foram recolhidos os registos da população anual para o período em causa. Após esta recolha, procedemos à determinação do seu crescimento pelo mesmo método aplicado no cálculo do crescimento económico, seguindo o exemplo de Lantz e Feng (2006).

Em forma de resumo, apresentamos abaixo a *tabela 2* com as fórmulas de cálculo de cada uma das variáveis explicativas

Tabela 2 - Fórmulas de cálculo das variáveis independentes

Variável	Fórmula de Cálculo
Emissões de CO2 (ECO2)	$ECO2 = \ln \frac{\text{Emissões de CO2}}{\text{População total}}$
Consumo de energia (CE)	$CE = \ln \frac{\text{Consumo de energia total}}{PIB_{pc}}$
Crescimento económico (TCE)	$TCE = \frac{PIB_{pc}(n) + PIB_{pc}(n-1)}{PIB_{pc}(n-1)}$
Desenvolvimento financeiro (DF)	$\left(\frac{\text{Fluxo de crédito}}{PIB} * PIB \right) / IPC = X \Rightarrow DF = \frac{X(n) + X(n-1)}{X(n-1)}$

A *tabela 3* apresenta os resultados estatísticos para as variáveis em causa neste estudo. Nela constatamos que no total iremos trabalhar com 380 observações para 20 países, entre os anos de 1997 e 2015 (a redução do período total deve-se ao facto da necessidade de se terem usado taxas de crescimento e assim foi obtido um período comum de análise para todos os países). No anexo apresentamos as tabelas de análise descritiva dos dados por país para o período comum de dados analisados, bem como os gráficos de evolução de cada uma das variáveis.

As emissões de CO₂ representadas por ECO2 apresentam uma média negativa de 4,8193, com um desvio-padrão de 0,5157, o que pode indiciar uma redução das emissões para este grupo de países. De todas as variáveis em análise é a dependência do petróleo aquela que apresenta maior risco ou volatilidade se optarmos pela sua medição através do desvio-padrão da variável.

Podemos observar que o crescimento económico (TCE) mais baixo que se verifica neste período é de -0,2143 no ano de 2009 na Letónia e o máximo é 0,3889, registado na Lituânia em 1997. A média desta variável é de 0,0510. TCE2 e TCE3 são, respetivamente, o crescimento económico ao quadrado e ao cubo, sendo que se dispensa análise descritiva dos mesmos por não adicionar mais à análise em causa.

Tabela 3 - Análise descritiva dos dados

VARIÁVEL	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	380	-4,8193	0,5157	-8,0287	-4,1321
TCE	380	0,0510	0,0687	-0,2143	0,3889
TCE2	380	0,0073	0,0144	0,0000	0,1512
TCE3	380	0,0010	0,0043	-0,0098	0,0588
CE	380	0,7808	1,2819	-3,3422	3,3174
CER	380	-2,6235	1,1758	-8,3249	-0,8696
DP	380	-5,2456	2,9824	-10,2653	0,0000
AP	380	0,1413	0,6477	-2,8450	2,3909
DF	380	0,2755	4,8050	-14,7066	82,8007

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmizada; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

A média do consumo de energia é positiva em 0,7808, sendo o seu valor mínimo de -3,3422 e o máximo de 3,3174, valores registados em Malta no ano de 2015 e na Polónia em 1997, respetivamente. Já a média do consumo de energia renovável (que lembramos ter sido dividida pelo consumo de energia total e logaritmizada) é negativa em -2,6235. O registo mais baixo verificou-se em Malta em 2002 (-8,3249). A dependência do petróleo (DP) é a variável que apresenta o segundo maior desvio-padrão (2,9824), sendo ultrapassado apenas pelo desenvolvimento financeiro (DF) que atinge os 4,8050. O valor mínimo verificado na variável DP foi de -10,2653, na Grécia em 2010, e o seu máximo valor é nulo. Este facto indicia que existe uma redução gradual da dependência do petróleo nos países em análise. A maior taxa de DF verificada atingiu uma taxa de 82,8007 na Eslováquia no ano 2000, tendo sido o seu maior decréscimo no valor de 14,7066, valor este verificado na Finlândia em 1998.

Já o crescimento populacional apresenta uma taxa de crescimento média, entre os 20 países, de 0,1413 e o seu desvio-padrão é de 0,6477. O maior aumento populacional (AP) verificado foi quando este atingiu a taxa de 2,3909, já o seu mínimo foi negativo em 2,3909. Estes foram registados na Malta em 2015 e Lituânia em 2011, respetivamente.

A *tabela 4* apresenta-nos os resultados de existência ou inexistência de correlação entre as variáveis em causa. Como é expectável, as variáveis com maior correlação são TCE com a TCE2 e a TCE3, dado que as duas últimas derivam da primeira e esta correlação é significativa ao nível de 1%. Podemos verificar que o consumo de energia tem uma baixa correlação negativa com o crescimento económico (-0,0548), no entanto esta relação não é estatisticamente significativa a qualquer nível.

Tabela 4- Correlações entre as variáveis

	ECO2	TCE	CE	CER	DP	AP	DF
ECO2	1						
TCE	-0,0932*	1					
CE	0,2042***	-0,0548	1				
CER	-0,4299***	0,0091	-0,0751	1			
DP	0,1748***	-0,0045	-0,2351***	-0,3068***	1		
AP	0,1995***	-0,2927***	0,0608	-0,2481***	0,143***	1	
DF	-0,0236	0,0969*	0,0370	-0,0373	0,0843	0,0436	1

*Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CE representa o consumo de energia logaritmizada; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.*

A tabela demonstra ainda que CE, DP e AP têm uma correlação positiva de 0,2042, 0,1748 e 0,1995 com as emissões de CO₂, respetivamente, sendo estas estatisticamente significativas a 1%. O consumo de energia renovável tem também uma correlação com o ECO2 estatisticamente significativa em 1%, no entanto esta correlação é negativa em 0,4299. Também a taxa de crescimento económico tem uma correlação negativa com o ECO2 no valor de 0,0932, valor este significativo a 10%.

O consumo de energia renovável apresenta uma correlação negativa em 0,2481 com o aumento populacional, valor estatisticamente significativo a 1%. Também a correlação entre a dependência do petróleo e o aumento populacional é estatisticamente significativa a 1%, sendo que esta correlação é de 0,143 (valor positivo).

4. Metodologia

O nosso contributo para a literatura existente passa, primeiramente, pela construção de uma base de dados robusta de 20 países Europeus para o período de 1997-2015. Segundo, incluímos outras variáveis capazes de explicar a relação da hipótese EKC por estarem direta ou indiretamente ligadas com o crescimento económico e as emissões de CO₂. Terceiro, analisamos as relações dinâmicas entre as variáveis endógenas usando um modelo de painel dinâmico (PVAR) originalmente criado por Douglas, Newey, & Rosen (1988), e mais tarde desenvolvido por Canova & Ciccarelli (2013), cujo código para STATA é disponibilizado por Love & Zicchino (2006).

A vantagem de usar uma metodologia PVAR relativamente a outros métodos (tal como Antonakakis et al. (2017) utilizam e referem no seu estudo da relação entre consumo de energia, emissões de CO₂ e crescimento económico) é evidente. Nomeadamente, os modelos PVAR são úteis quando há pouca informação teórica, ou a existente é ambígua, acerca da relação entre as variáveis que nos guie em termos de especificação do modelo. Outra vantagem importante prende-se com o facto de os modelos PVAR serem explicitamente construídos para lidar com os problemas de endogeneidade⁹, que se podem tornar um desafio relevante na investigação empírica, principalmente naquela que estuda a relação entre consumo de energia, crescimento económico e emissões (Antonakakis et al., 2017). Por exemplo, Moutinho et al. (2017) utilizaram técnicas como a das variáveis centradas para reduzir o elevado grau de correlação que pode existir entre as variáveis PIB, PIB ao quadrado e PIB ao cubo. Mais ainda, os modelos de PVAR ajudam a reduzir os problemas de endogeneidade pois trata todas as variáveis como potencialmente endógenas e permitindo modelizar explicitamente os efeitos de *feedback* entre as variáveis (Antonakakis et al., 2017; Canova & Ciccarelli, 2013).

Na nossa estimação vamos usar uma forma de identificação generalizada tal como em Antonakakis et al. (2017), Love & Zicchino (2006) e Pesaran & Shin (1998).

Para verificar a existência da EKC usaremos a seguinte função descrita pela equação (1), sendo este o modelo geral. Por questões de robustez de análise algumas das variáveis explicativas foram sendo incluídas e retiradas da análise por forma a verificarmos se a introdução de variáveis ao modelo mantém a forma da hipótese EKC que se pretende obter.

⁹ Endogeneidade refere-se a qualquer situação onde uma variável explicativa é correlacionada com o erro (Wooldridge, 2010, p. 54) das variáveis explicativas que já está no modelo (o que é bem comum). Necessariamente haverá correlação entre a variável explicativa e o erro; os erros de medição: se há apenas uma variável com erro de medição e não temos a variável sem erro que deveria estar no modelo, podemos ter correlação entre a variável que temos (com erro) e o erro (porque o erro contém uma parte daquilo que não foi mensurado corretamente). Isso depende da relação entre a variável que temos (com erro) e a que não temos mas gostaríamos de ter (sem erro); a simultaneidade: quando uma das variáveis explicativas é determinada pela variável explicada no modelo, ou seja, x influencia y , mas y também influencia x simultaneamente. Nesse caso, x e o erro geralmente possuem correlação entre si.

$$\ln ECO_2 = \alpha_0 + \alpha_1 TCE + \alpha_2 (TCE)^2 + \alpha_3 (TCE)^3 + \alpha_4 * X_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em que X_t é um vetor de outras variáveis capazes de afetar a qualidade ambiental medida pelas emissões de CO_2 *per capita* representada por $\ln CO_2$ ($\frac{CER}{CE} = CER$; $\ln(CE/PIB_{pc}) = CE$; TCE ; $\frac{Imp}{CE} = DP$; DF ; AP), onde CER designa o consumo de energias renováveis, CE o consumo de energia, PIB o Produto Interno Bruto, AP a taxa de crescimento da população, Imp as importações de petróleo e a DF designa a taxa de crescimento financeiro. TCE diz respeito à taxa de crescimento do PIB *per capita* sendo TCE^2 e TCE^3 os valores da taxa de crescimento do PIB *per capita* ao quadrado e ao cubo para se poder capturar o efeito da EKC em forma de U invertido ou em forma de N, respetivamente. Os valores dos coeficientes α estão associados aos coeficientes das variáveis que os sucede e cujos sinais ajudam a entender a forma da curva EKC. Finalmente, ε representa o termo de erro.

Esta equação permite testar várias formas da relação ambiente/desenvolvimento económico/crescimento económico, nomeadamente, seguindo os autores (Esmaeilpour Moghadam & Dehbashi, 2017), nomeadamente se:

- i) $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0 \Rightarrow$ significa que não existe relação entre o crescimento do PIB e as emissões de CO_2 .
- ii) $\alpha_1 > 0$ e $\alpha_2 = \alpha_3 = 0 \Rightarrow$ então, há uma relação monotónica crescente, ou uma relação linear entre crescimento económico e as emissões de CO_2 .
- iii) $\alpha_1 < 0$ e $\alpha_2 = \alpha_3 = 0 \Rightarrow$ há uma relação monotónica decrescente entre o crescimento económico e as emissões de CO_2 .
- iv) $\alpha_1 > 0$, $\alpha_2 < 0$ e $\alpha_3 = 0 \Rightarrow$ existe então uma relação invertida em forma de U, verificando-se a hipótese EKC.
- v) $\alpha_1 < 0$, $\alpha_2 > 0$ e $\alpha_3 = 0 \Rightarrow$ prova-se a existência de uma relação em forma de U.
- vi) $\alpha_1 > 0$, $\alpha_2 < 0$ e $\alpha_3 > 0 \Rightarrow$ então estaremos na presença de uma função polinomial cúbica ou curva em forma de N.
- vii) $\alpha_1 < 0$, $\alpha_2 > 0$ e $\alpha_3 < 0 \Rightarrow$ verifica-se o oposto da curva em forma de N.

Para se proceder à estimação da equação (1) através do modelo PVAR, todas as variáveis foram logaritimizadas à exceção das taxas de crescimento. Para verificarmos se as variáveis cumprem os requisitos necessários para poder ser aplicado um modelo PVAR, precisamos que as mesmas sejam estacionárias. Para o efeito procedeu-se à realização de testes de raízes unitárias à forma que as

variáveis tomarão no modelo final (logaritmos e taxas). Para o efeito, na *tabela 5* apresentamos os testes de raízes unitárias realizados às variáveis.

Assim como Antonakakis et al. (2017) também nós seguiremos os testes de raiz unitária desenvolvidas por Levin, Lin, & Chu (2002) e por Im, Pesaran e Shin (2003) aos quais também designaremos por LLC e IPS, respetivamente, sendo estas as iniciais dos autores dos testes. Realizamos os testes aos dados em níveis e nas primeiras diferenças dos logaritmos naturais.

O modelo LLC considera a seguinte equação.

$$\Delta \ln Y_{it} = \rho_i Y_{it-1} + \sum_{j=1}^{p_i} \delta_{i,j} \Delta \ln Y_{it-j} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Sendo Y_{it} um vetor de todas as variáveis endógenas. Este modelo assume que os parâmetros permanentes ρ_i são idênticos, ou seja, $\rho_i = \rho$ para todos os i . O teste de IPS difere do LLC precisamente neste ponto, dado que o modelo de IPS assume que ρ_i é heterogéneo.

Relativamente à hipótese nula de cada teste, o primeiro testa a hipótese de $\rho_i = 0$ contra a hipótese de $\rho_i < 0$. No caso de rejeição da hipótese nula, isso indica um possível processo de integração de painéis. O segundo teste (IPS) testa a hipótese nula $\rho_i < 0$ contra a hipótese alternativa $\rho_i < 0$ ($i=1, \dots, N_1$); $\rho_i = 0$ ($i=N_1+1, \dots, N$) para todos os i (Antonakakis et al., 2017). Devido à natureza heterogénea da hipótese alternativa, a rejeição da hipótese nula não implica necessariamente que a raiz unitária nula é rejeitada para todos os i , mas apenas que a hipótese nula é rejeitada para $N_1 < N$ (Im et al., 2003).

Tabela 5 - Teste de raízes unitárias

	LLC				IPS			
	Constant	Prob	Constant + Trend	Prob	Constant	Prob	Constant + Trend	Prob
ECO2	4,3513	1,0000	-0,7359	0,2309	5,6819	1,0000	1,2011	0,8851
TCE	-5,9768***	0,0000	-7,4892***	0,0000	-5,1563***	0,0000	-5,3003***	0,0000
CE	-3,0350***	0,0012	-2,0515**	0,0201	2,7080*	0,9966	-0,7436	0,2286
CER	0,6705	0,7487	-2,1604**	0,0154	5,9177	1,0000	0,5145	0,6965
DP	-2,6236***	0,0044	-1,4423*	0,0746	-1,9698	0,0244	-0,8679	0,1927
DF	-4,3271***	0,0000	-2,5137***	0,0060	-5,9344***	0,0000	-4,3649***	0,0000
AP	-1,2779	0,1006	-1,1132	0,1328	-1,6154*	0,0531	-0,8882	0,1872
Δ ECO2	-6,8228***	0,0000	-6,9096***	0,0000	-8,2266***	0,0000	-7,2265***	0,0000
Δ TCE	-14,2270***	0,0000	-11,7621***	0,0000	-13,1938***	0,0000	-9,9968***	0,0000
Δ CE	-8,9070***	0,0000	-8,3547***	0,0000	-7,6455***	0,0000	-5,5452***	0,0000
Δ CER	-8,3312***	0,0000	-7,0167***	0,0000	-7,2459***	0,0000	-5,5329***	0,0000
Δ DP	-5,9793***	0,0000	-5,1438***	0,0000	-8,0245***	0,0000	-5,3692***	0,0000
Δ DF	-7,3691***	0,0000	-3,4486***	0,0003	-12,7273***	0,0000	-9,5783***	0,0000
Δ AP	-6,7530***	0,0000	-5,4189***	0,0000	-7,3307***	0,0000	-4,5440***	0,0000

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmicado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Posteriormente foram realizados os testes de causalidade de Granger que apresentamos no capítulo 5.2. para tal, seguimos novamente a metodologia de Antonakakis et al. (2017) que consiste no seguinte modelo representado pela equação (3).

$$\Delta \ln ECO2_{it} = \alpha_{it} + \sum_{l=1}^{m_{TCE_i}} \beta_{i,j} \Delta \ln TCE_{it-l} + \sum_{l=1}^{m_{\theta_i}} \gamma_{i,j} \Delta \ln \theta_{it-l} + \sum_{l=1}^{m_{ECO2_i}} \delta_{i,j} \Delta \ln ECO2_{it-l} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Onde o índice i se refere ao país e t ao período de tempo ($t = 1, \dots, T$) e l refere-se ao lag. Da mesma forma que os autores, $\Delta \ln TCE$ denota o crescimento PIB real *per capita*, $\Delta \ln \theta$ representa o crescimento de cada uma das variáveis CE (consumo de energia), CER (consumo de energia renovável), DP (dependência do petróleo), AP (aumento populacional) e DF (desenvolvimento financeiro). $\Delta \ln ECO2$ denota o crescimento das emissões de CO_2 e ε_{it} refere-se ao termo do erro *white-noise*.

A estatística de teste do *Chi2* testa a hipótese nula de não existir nenhuma relação causal para qualquer uma das unidades de secção transversal, contra a hipótese alternativa de que relações causais ocorrem para pelo menos num subgrupo do painel (Antonakakis et al., 2017). Foram ainda realizados testes de desfasamento às variáveis que sugeriram um número de desfasamentos ótimo de 1 atendendo à relação analisada¹⁰.

Podemos dizer que uma variável X causa outra variável Y no sentido de Granger (1969) se a observação de X no presente ou no passado ajuda a prever os valores futuros de Y para algum horizonte de tempo (Granger, 1969). Sob a hipótese de que os valores correntes e passados das variáveis incluídas no modelo contenham toda a informação relevante para a previsão dos seus valores futuros, pode-se mostrar que uma variável X causa outra variável Y se, na equação de Y , algum dos coeficientes associados às desfasagens de X é diferente de zero e significativo. Todavia, X não causa Y se todos esses coeficientes são nulos. Os testes de causalidade de Granger podem apontar quatro possibilidades: (i) causalidade unidirecional de Y para X ; (ii) causalidade unidirecional de X para Y ; (iii) causalidade bidirecional; (iv) ausência de causalidade em qualquer direção.

Precisamos ainda de evidenciar que os modelos de vetor autorregressivo têm a vantagem de não definir à partida qual das variáveis é endógena e quais são exógenas, fornecendo evidências empíricas sobre as respostas de cada variável a alterações de comportamento das restantes sem impor restrições teóricas. É ainda de salientar a vantagem de que permitem estudar quais as relações de causalidade entre as variáveis em análise e como estas reagem após um choque, através da causalidade de Granger, das funções resposta impulso e da decomposição da variância (estes últimos dois resultados omitidos por gestão de espaço). Todavia, estes modelos também têm desvantagens como a exigência de estacionariedade das variáveis em análise e ainda o facto de produzirem um número elevado de parâmetros (Brooks, 2008).

¹⁰ Os testes não são aqui apresentados mas serão disponibilizados se requeridos. No Eviews recorreu-se aos resultados dos testes de *lag lenght criteria* AIC: *Akaike information criterion*, SC: *Schwarz information criterion* e de HQ: *Hannan-Quinn information criterion*.

5. Resultados Empíricos

5.1. Determinação da EKC

Como anunciado antes, procedemos então ao cálculo das várias equações possíveis de criar com as diferentes variáveis em questão, tendo estas estimações resultado em 42 equações/regressões. Estas foram divididas em 11 tabelas e os resultados apresentam-se nas tabelas 6 a 16.

A Eq1 mostra-nos a determinação da EKC em forma de U invertido. Dado que $\alpha_1 > 0$ e $\alpha_2 < 0$, sendo ambos os coeficientes significativos, e seguindo Esmaeilpour Moghadam e Dehbashi (2017), verificamos a relação de U invertido entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ confirmando assim a existência da EKC, tal como Ahmad et al. (2017), Moutinho et al. (2017) e Yang et al. (2017), entre outros, concluíram nos seus estudos. Deste modo, conseguimos validar a nossa H1a enunciada na revisão de literatura.

Nas equações seguintes vamos acrescentando variáveis e retirando, testando todas as combinações possíveis, por questões de robustez e atendendo aos valores de correlação obtidos anteriormente, para conseguir diminuir os problemas de multicolineariedade eventualmente ainda existentes. Na Eq2 testamos a existência de relação entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ em forma de N ou N invertido, não tendo encontrado essa mesma relação ao contrário de alguns autores como Balsalobre-Lorente et al. (2018) que verificaram a existência de uma relação em forma de N.

Tabela 6 – Resultados das estimações: equações 1 a 4

	Eq1		Eq2		Eq3		Eq4	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9619***	0,0000	0,9496***	0,0000	0,9433***	0,0000	0,9519***	0,0000
TCE	0,3161**	0,0160	0,5863***	0,0000	0,5159***	0,0020	0,2615**	0,0490
TCE2	-2,0249**	0,0100	0,2800	0,8060	0,0377	0,9740	-2,0271***	0,0090
TCE3			-14,0695***	0,0060	-12,5860**	0,0150		
CE					0,0354	0,1460	0,0464*	0,0530
Cons	-0,2030	0,2490	-0,2792	0,1140	-0,3321*	0,0640	-0,2834	0,1140
Waldchi2	712,72		728,38		739,76		728,7	
Pvalue			0,0000		0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO₂ proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritimizada. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.

A variável CE (consumo de energia) contribui para a formação da EKC. O seu coeficiente é sempre positivo, confirmando o analisado na revisão de literatura, ou seja, o consumo de energia aumenta as emissões de CO₂. Os coeficientes desta variável são estatisticamente significativos em

todas as equações exceto naquelas em que também usamos a(s) variável(is) explicativas TCE3 e/ou CER (consumo de energia renovável).

Em todas as equações podemos verificar que o consumo de energia renovável conduz a uma diminuição das emissões de CO₂, entrando assim em concordância com alguns autores como Hu, Xie, Fang e Zhang (2018). A mesma relação foi encontrada por vários autores, nomeadamente Balsalobre-Lorente et al. (2018), Inglesi-Lotz e Dogan (2018) e Sinha e Shahbaz (2018). O aumento do consumo de energia renovável leva a uma diminuição das emissões de CO₂ de, aproximadamente, 3% em todas as equações determinadas. Na Eq30 é onde verificamos o maior impacto do CER nas ECO2 (-3,60%). É-nos então possível afirmar a veracidade da hipótese H5: Existe uma relação inversa entre o consumo de energia renovável e as emissões de CO₂.

De todas as equações determinadas, esta variável não é estatisticamente significativa apenas nas equações 8 e 34, que contêm as variáveis explicativas TCE3 e CE; TCE3, CE e DF, respetivamente. Isto verifica-se devido ao facto de TCE3 ter-se relevado não significativo para as nossas equações por não encontrarmos uma relação em forma de N ou N invertido e pelo consumo total de energia estar de certa forma ligado ao consumo de energia renovável. Acresce que, como iremos analisar posteriormente, o desenvolvimento financeiro (DF) não será uma variável estatisticamente significativa para o aumento ou diminuição das emissões de CO₂, ao contrário do que seria expectável.

Tabela 7 – Resultados das estimações: equações 5 a 8

	Eq5		Eq6		Eq7		Eq8	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9333***	0,0000	0,9253***	0,0000	0,9330***	0,0000	0,9257***	0,0000
TCE	0,2710**	0,0390	0,5257***	0,0010	0,2476*	0,0620	0,4988**	0,0030
TCE2	-2,1169***	0,0060	0,0250	0,9820	-2,1011***	0,0070	-0,0604	0,9580
TCE3			-12,9990**	0,01			-12,3983**	0,0160
CE					0,0272	0,302	0,0178	0,5030
CER	-0,0331**	0,018	-0,0290**	0,0380	-0,0268*	0,0810	-0,0248	0,1030
Cons	-0,4242**	0,0320	-0,4680**	0,0180	-0,4286**	0,0300	-0,4669**	0,0180
Wald chi2	731,56		745,43		737,07		747,91	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

*Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritimizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.*

A partir da Eq9 temos presente a variável DP que representa a dependência do petróleo. Ao contrário daquilo que seria expectável a partir da nossa breve revisão de literatura, a dependência de petróleo não é um fator que tenha influência nas emissões de CO₂. Embora esperássemos que quanto maior a DP, maiores seriam as ECO2, em nenhuma das equações desenvolvidas esta variável explicativa é estatisticamente significativa. Este resultado pode significar que o crescimento económico está cada vez menos dependente do consumo de petróleo, talvez resultado da

substituição de combustíveis fósseis para consumo energético por fontes renováveis alternativas, fruto da imposição da legislação. Deste modo conseguiríamos justificar porque a dependência do petróleo não influencia a relação EKC. Todavia, precisávamos de realizar mais testes capazes de comprovar estes resultados.

Tabela 8 – Resultados das estimações: equações 9 a 12

	Eq9		Eq10		Eq11		Eq12	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9636***	0,0000	0,9507***	0,0000	0,9538***	0,0000	0,9346***	0,0000
TCE	0,3150**	0,0000	0,5825***	0,0160	0,2579*	0,0530	0,2678**	0,0420
TCE2	-1,9726**	0,8030	0,2838	0,0120	-1,9522**	0,0130	-2,0405	0,7830
TCE3		0,0070	-13,8939***					
CE					0,0486**	0,0440		
CER							-0,0346**	0,0140
DP	-0,0022	0,7300	-0,0013	0,5510	-0,0030	0,4240	-0,0032	0,3840
Cons	-0,2071		0,0000	0,2400	-0,2921	0,1040	-0,4394**	0,0270
Wald chi2	711,68		715,64		728,48		731,18	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

*Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritimizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.*

Após verificarmos que a variável dependência do petróleo não corresponde às nossas expectativas procedemos à integração da variável explicativa aumento populacional (AP), presente nos nossos quadros de resultados a partir da Eq16. AP foi a única variável explicativa que se verificou estatisticamente significativa em todas as equações determinadas. Deste modo, confirmamos que a hipótese H6 é verdadeira (“Existe uma relação direta entre o crescimento populacional e a degradação ambiental”).

Pelos resultados evidenciados nas tabelas de resultados, verificamos que o aumento da população de 1% leva ao decréscimo de ECO2 de, aproximadamente, 6%. Uma possível explicação para este resultado é a de que o crescimento populacional deriva de um aumento do número de nascimentos, logo a um maior número de crianças. Como será de esperar e está comprovado na literatura (Hart, 2013), as crianças levam a população, mais concretamente os pais, a ter uma maior preocupação com a qualidade do ambiental por desejarem um futuro melhor para os seus filhos/netos. Logo, estes terão maior atenção ao consumo de energias com maiores emissões poluentes, por exemplo, preferindo assim fontes menos poluentes e produtos ambientalmente mais sustentáveis (Hart, 2013).

Tabela 9 – Resultados das estimações: equações 13 a 16

	Eq13		Eq14		Eq15		Eq16	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9264***	0,0000	0,9344***	0,0000	0,9270***	0,0000	0,9595***	0,0000
TCE	0,5173***	0,0020	0,2429*	0,0680	0,4872***	0,0040	0,3017**	0,0210
TCE2	0,0285	0,9800	-2,0156**	0,0100	-0,0640	0,9550	-1,9825**	0,0110
TCE3	-12,6711**	0,0130			-11,9864**	0,0210		
CE			0,0289	0,2740	0,0193	0,4690		
CER	-0,0301**	0,0330	-0,0279*	0,0700	-0,0256*	0,0940		
DP	-0,0023	0,5450	-0,0035	0,3490	-0,0025	0,5040		
AP							-0,0620***	0,0020
Cons	-0,4771**	0,0160	-0,4447**	0,0250	-0,4771**	0,0160	-0,2050	0,2410
Wald chi2	743,86		737,22		746,78		732,47	
Pvalue	0,0000		0,0000		0		0	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento econômico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritimizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respectivamente.

Os nossos resultados são contraditórios com alguns outros estudos recentes, nomeadamente Dogan e Turkekul (2016) que afirmam que o aumento da população tem um impacto positivo nas emissões de CO₂, pois mais pessoas a consumir energia leva a uma maior poluição ambiental. Por outro lado, Sharif Hossain (2011) entra em concordância com os nossos resultados para os países das Filipinas, África do Sul e Tailândia já que concluíram que o crescimento populacional diminui a poluição ambiental. No entanto, o mesmo autor verificou também o resultado inverso para outros países em análise no seu estudo. Importa ainda realçar que esta variável explicativa revela significância estatística no nível de 1% para todos os seus coeficientes determinados.

Tabela 10 – Resultados das estimações: equações 17 a 20

	Eq17		Eq18		Eq19		Eq20	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9476***	0,0000	0,9499***	0,0000	0,9300***	0,0000	0,9616***	0,0000
TCE	0,5619***	0,0010	0,2494*	0,0590	0,2547*	0,0510	0,3005**	0,0210
TCE2	0,2323	0,8370	-1,9861**	0,0100	-2,0768***	0,0070	-1,9131**	0,0150
TCE3	-13,5261***	0,0080						
CE			0,0448*	0,0600				
CER					-0,0343**	0,0140		
DP							-0,0028	0,4550
AP	-0,0598***	0,0020	-0,0611***	0,0020	-0,0631***	0,0010	-0,0632***	0,0010
Cons	-0,2790	0,1110	-0,2828	0,1120	-0,4336**	0,0270	-0,2099	0,2310
Wald chi2	747,19		748,15		753,02		730,96	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Tabela 11 – Resultados das estimações: equações 21 a 24

	Eq21		Eq22		Eq23		Eq24	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9415***	0,0000	0,9223***	0,0000	0,9492***	0,0000	0,9226***	0,0000
TCE	0,4940***	0,0030	0,4981***	0,0020	0,5567***	0,0010	0,4749***	0,0050
TCE2	-0,0017	0,9990	-0,0349	0,9750	0,2438	0,8300	-0,1069	0,9240
TCE3	-12,0987**	0,0180	-12,3960**	0,0140	13,2889***	0,0090	-11,8817	0,0200
CE	0,0343	0,1560					0,0154	0,5590
CER			-0,0303**	0,0290			-0,0266*	0,0780
DP					-0,0184	0,6180		
AP	-0,0595***	0,0020	-0,0611***	0,0020	-0,0605***	0,0020	-0,0608***	0,0020
Cons	-0,3305*	0,0630	-0,4757**	0,0150	-0,2809	0,1100	-0,4751**	0,0150
Wald chi2	758,42		765,93		744,84		767,82	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Tabela 12 – Resultados das estimações: equações 25 a 28

	Eq25		Eq26		Eq27		Eq28	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9433***	0,0000	0,9241***	0,0000	0,9296***	0,0000	0,9520***	0,0000
TCE	0,4831***	0,0040	0,4609***	0,0070	0,2340*	0,0760	0,2453*	0,0640
TCE2	0,0019	0,9990	-0,1075	0,9240	-2,0643***	0,0070	-1,8953**	0,0150
TCE3	-11,6981**	0,0240	-11,3878**	0,0270				
CE	0,0364	0,1360	0,0172	0,5160	0,0242	0,3550	0,0472**	0,0490
CER			-0,0277*	0,0690	-0,0287*	0,0600		
DP	-0,0025	0,4970	-0,0031	0,4070			-0,0035	0,3470
AP	-0,0603***	0,0020	-0,0619***	0,0010	-0,0625***	0,0010	-0,0625***	0,0010
Cons	-0,0603***	0,0020	-0,4879**	0,0130	-0,4383**	0,0250	-0,2929	0,1010
Waldchi2	756,57		766,05		757,79		747,34	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Esperávamos que a variável explicativa DF pudesse vir a ter impactos positivos na variável dependente pelo facto de ser considerado que um maior volume de empréstimos permitisse maior investimento nas indústrias que por sua vez levavam a uma maior poluição ambiental caso não houvesse políticas bancárias que convertessem essa situação. Por outro lado, acreditávamos também ser possível que o impacto do desenvolvimento financeiro nas emissões de CO₂ fosse negativo. Este facto seria facilmente justificado com o desenvolvimento tecnológico permitido pelo aumento do crédito à inovação que traria equipamentos de melhor qualidade às indústrias e permitiriam uma menor poluição ambiental. Ou podemos ainda considerar o caso em que o DF leva a um maior crescimento económico, situação em que as preocupações das pessoas passa pela poluição do ambiente, pois pretendem uma melhor qualidade de vida (Tamazian & Bhaskara Rao, 2010; Esmaeilpour Moghadam & Dehbashi, 2017; Salahuddin et al., 2018).

Contudo, no período e países em análise não encontramos relação entre DF e a variável dependente em causa. Nas 12 equações em que usamos esta variável explicativa para as estimar, esta não se revelou estatisticamente significativa em nenhum nível de significância (1, 5 ou 10%). Estes resultados contrariam os de Cole e Elliott (2005) e Tamazian e Bhaskara Rao (2010) que concluíram que o DF leva a um aumento e diminuição das emissões de CO₂, respetivamente.

Tabela 13 – Resultados das estimações: equações 29 a 32

	Eq29		Eq30		Eq31		Eq32	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9311***	0,0000	0,9314***	0,0000	0,9615***	0,0000	0,9483***	0,0000
TCE	0,2286*	0,0840	0,2509*	0,0550	0,3182**	0,0160	0,5955***	0,0000
TCE2	-1,9618**	0,0110	-1,9821**	0,0110	-2,0201**	0,0100	0,3179	0,7810
TCE3							-14,2289***	0,0050
CE	0,0260	0,3210						
CER	-0,0300*	0,0500	-0,0360**	0,0100				
DP	-0,0040	0,2740	-0,0038	0,2980				
AP	-0,0641***	0,0010	-0,0648**	0,0110				
DF					-0,0002	0,8880	-0,0006	0,7080
Cons	-0,4572**	0,0200	-0,4516**	0,0220	-0,2052	0,2460	-0,2858	0,1070
Wald chi2	757,16		751,87		710,91		727,24	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

*Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmizado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.*

Tabela 14 – Resultados das estimações: equações 33 a 36

	Eq33		Eq34		Eq35		Eq36	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9418***	0,0000	0,9242***	0,0000	0,9256***	0,0000	0,9236***	0,0000
TCE	0,5257***	0,0020	0,5083***	0,0030	-0,0291	0,9800	0,4644***	0,0070
TCE2	0,0783	0,9460	-0,0209	0,9850	-0,0291	0,9800	-0,0953	0,9330
TCE3	-12,7534**	0,0140	-12,5618**	0,0150	-12,1562**	0,0200	-11,4500**	0,0270
CE	0,0359	0,1410	0,0183	0,4910	0,0197	0,4610	0,0174	0,5130
CER			-0,0248	0,1040	-0,0255*	0,0950	-0,0276*	0,0700
DP					-0,0024	0,5290	-0,0030	0,4160
AP							-0,0617***	0,0020
DF	-0,0006	0,6640	-0,0006	0,6690	-0,0006	0,7020	-0,0002	0,8940
Cons	-0,3405*	0,0590	-0,4749**	0,0160	-0,4837**	0,0150	-0,4901**	0,0130
Wald chi2	738,85		747	0,0000	745,6		764,04	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmicado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativa a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Tabela 15 – Resultados das estimações: equações 37 a 40

	Eq37		Eq38		Eq39		Eq40	
	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9322***	0,0000	0,9338***	0,0000	0,9314***	0,0000	0,9341***	0,0000
TCE	0,2509*	0,0610	0,2459*	0,0660	0,2278*	0,0870	0,2705**	0,0410
TCE2	0,0275***	0,0070	-2,0131**	0,0100	-1,9643**	0,0110	-2,0390***	0,0090
TCE3								
CE	0,0275	0,2970	0,0291	0,2710	0,0259	0,3240		
CER	-0,0268*	0,0810	-0,0278*	0,0710	-0,0300*	0,0500	-0,0346**	0,0140
DP			-0,0034	0,3590	-0,0040	0,2740	-0,0032	0,3940
AP					-0,0642***	0,0010		
DF	-0,0003	0,8190	-0,0003	0,8550	0,0001	0,9460	-0,0002	0,8870
Cons	-0,4326***	0,0029	-0,4476**	0,0240	-0,4560**	0,0210	-0,4414**	0,0270
Waldchi2	735,44		735,39		754,8		729,25	
Pvalue	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CE representa o consumo de energia logaritmicado; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativo a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Tabela 16 – Resultados das estimações: equações 41 a 42

	Eq41		Eq42	
	Coef	Prob	Coef	Prob
ECO2	0,9318***	0,0000	0,9620***	0,0000
TCE	0,2494*	0,0580	0,2985**	0,0230
TCE2	-1,9851**	0,0110	-1,9160**	0,0150
CER	-0,0359**	0,0100		
DP	-0,0039	0,2970	-0,0028	0,4510
AP	-0,0649***	0,0010	-0,0634***	0,0010
DF	0,0001	0,9210	0,0002	0,9040
Cons	-0,4500**	0,0230	-0,2081	0,2370
Wald chi2	749,51		728,64	
Pvalue	0,0000		0,0000	

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico, TCE2 ao quadrado de TCE e TCE3 ao cubo de TCE; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativo a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Apesar de verificarmos que algumas variáveis se revelaram estatisticamente não significativas para qualquer estimação, e outras revelaram-se estatisticamente não significativas para algumas das equações estimadas, através do teste de Wald, verificamos que todas as estimações calculadas revelam-se estatisticamente significativas ao nível de significância mais baixo (1%).

5.2. Causalidade de Granger

Seguindo o estudo de Antonakakis et al. (2017) procedemos também à determinação da causalidade de Granger para as nossas variáveis. Como era esperado, após exploração dos resultados acima, nas figuras 1 a 5 verificamos que a grande maioria das variáveis não apresentam relações causais entre elas. Na figura 1 apresentamos os resultados do teste relativamente à variável consumo de energia. Aqui denotamos que a taxa de crescimento económico e o consumo de energia influenciam a variável dependente, porém, não se verifica a relação inversa. Ainda na mesma figura constatamos também que ECO2 e CE, em conjunto, causam a taxa de crescimento económico e ainda que a TCE causa o consumo de energia. Deste modo verificamos a hipótese H2a de que existe uma relação direta entre o consumo de energia e a degradação ambiental, somente confirmada através dos testes de causalidade de Granger, o que não foi evidenciado pelas equações acima estimadas.

Os nossos resultados podem ser comparados com os resultados obtidos por Antonakakis et al. (2017) para o grupo de países de rendimento elevado dado que os países em análise no nosso estudo são países desenvolvidos. Para este teste de causalidade entre emissões de CO₂, crescimento económico e consumo de energia total, os autores obtiveram resultados opostos aos nossos. Enquanto nós concluímos que apenas as variáveis ECO2 em conjunto com CE causam TCE,

os autores concluíram que as emissões de CO₂ e o consumo total de energia causam o crescimento económico, mas o mesmo não verificam com as duas variáveis em conjunto. Concluem também que ECO2, TCE e ECO2+TCE causam o consumo de energia. Nós, pelo contrário, apenas registamos influências do crescimento económico no consumo de energia. Os diferentes resultados podem dever-se à especificidade dos países em análise, em que no nosso estudo são países pertencentes a um mesmo grupo, União Europeia, sujeitos a regras estritas comuns para se manterem nesse mesmo grupo, que de algum modo podem condicionar estes resultados. Também estão sujeitos a normas estritas de proteção ambiental¹¹.

O estudo de Antonakakis et al. (2017) aponta ainda para que todas as variáveis em causa, sozinhas ou em conjunto, apresentam uma relação de causalidade de Granger com as emissões de CO₂. Os nossos resultados indicam que apenas TCE e CE, individualmente, influenciam as emissões de CO₂.

Figura 1 - Esquerda: Causalidade de Granger entre CE, TCE e ECO2; Direita: Causalidade de Granger entre CER, TCE e ECO2

ECO2	←	TCE	4,276**	ECO2	×	TCE	0,000
ECO2	←	CE	3,409*	ECO2	×	CER	1,913
ECO2	×	TCE+CE	4,289	ECO2	×	TCE+CER	2,430
TCE	×	ECO2	0,170	TCE	←	ECO2	3,343*
TCE	×	CE	0,060	TCE	×	CER	1,065
TCE	←	ECO2+CE	6,371**	TCE	←	ECO2+CER	4,630*
CE	×	ECO2	1,175	CER	×	ECO2	0,805
CE	←	TCE	2,821*	CER	×	TCE	0,923
CE	×	ECO2+TCE	3,819	CER	×	ECO2+TCE	0,981

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO₂ proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativo a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Na figura 1 apresentamos ainda os resultados da causalidade de Granger relativamente ao consumo de energia renovável (CER). Nesta situação apenas ECO2 e ECO2 em conjunto com o CER (ECO2+CER) causam o crescimento económico, sendo que não encontramos qualquer outra relação de causalidade estatisticamente significativa.

¹¹ O pacote de medidas 2020, à data do presente estudo ainda em vigor, é um conjunto de normas e leis para garantir que a UE irá atingir as metas em termos de ação climática e objetivos energéticos até 2020. O pacote define 3 grandes objetivos ou metas que consistem na redução de 20% nas emissões de gases com efeitos de estufa (relativamente aos níveis de 1990), na produção de energia ao nível da EU a partir de fontes de energia renováveis até 20%, e na melhoria da eficiência energética em 20%. As metas foram definidas pelos líderes da EU em 2007, tendo entrado em vigor na forma de legislação em 2009, sendo que os países todos tiveram de contribuir para estas normas, transpondo as leis a nível interno do país.

Antonakakis et al. (2017) analisaram também estas relações de causalidade para o consumo de energia renovável. Os autores concluem que a relação de causalidade entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico é estatisticamente significativa nos dois sentidos, ou seja, ECO2 causa TCE e TCE causa ECO2. Concluem também que CER+ECO2 causam TCE, TCE e TCE+ECO2 causam consumo de energia renovável e, por fim, ECO2, além de ser causado por TCE como referido anteriormente, também CER e TCE+CER causam ECO2.

Os nossos resultados entram em concordância com os de Antonakakis et al. (2017) apenas nos resultados das relações de causalidade de ECO2 para TCE e ECO2+CER para o crescimento económico. Os nossos resultados coincidem também na não causalidade do consumo de energia renovável para o crescimento económico e de ECO2 para o consumo de energia renovável.

Relativamente à dependência do petróleo, tal como analisamos previamente nas equações apresentadas no subcapítulo anterior, mais uma vez não verificamos relação de causalidade entre DP e a degradação ambiental, o que não nos permite confirmar a H4. A única relação causal estatisticamente significativa verificada na figura 3 regista-se entre ECO2 em conjunto com DP que influenciam TCE.

Figura 2 – Esquerda: - Causalidade de Granger entre DP, TCE e ECO2; Direita: - Causalidade de Granger entre AP, TCE e ECO2

ECO2	✗	TCE	0,403	ECO2	✗	TCE	0,508
ECO2	✗	DP	1,319	ECO2	✗	AP	0,791
ECO2	✗	TCE+DP	1,675	ECO2	✗	TCE+AP	1,154
TCE	✗	ECO2	5,333	TCE	←	ECO2	3,284*
TCE	✗	DP	0,034	TCE	✗	AP	2,682
TCE	←	ECO2+DP	5,708*	TCE	✗	ECO2+AP	3,387
DP	✗	ECO2	0,654	AP	✗	ECO2	1,228
DP	✗	TCE	0,681	AP	✗	TCE	2,113
DP	✗	ECO2+TCE	1,767	AP	✗	ECO2+TCE	2,840

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO₂ proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativo a 10, 5 e 1%, respetivamente.

Ao contrário do estimado nas equações em que incluímos a variável explicativa AP, na figura 2 não verificamos relação causal entre o aumento populacional e as emissões de CO₂. Nesta estimação de causalidade de Granger apenas temos presente uma relação de causalidade entre ECO2 e TCE, em que as emissões de CO₂ influenciam o crescimento económico.

Por fim, estimamos a causalidade de Granger para o desenvolvimento financeiro, crescimento económico e emissões de CO₂. Os resultados estão espelhados na figura 3 e demonstram que ECO2, DF e ECO2 conjuntamente com DF causam o crescimento económico, sendo estes resultados

estatisticamente significativos ao nível de 5%. Aqui confirmamos a hipótese H3b, apresentada na revisão de literatura.

Figura 3 - Causalidade de Granger entre DF, TCE e ECO2

ECO2	✗	DF	0,580
ECO2	✗	TCE+DF	0,701
TCE	←	ECO2	4,984**
TCE	←	DF	4,237**
TCE	←	ECO2+DF	6,763**
DF	✗	ECO2	0,061
DF	✗	TCE	0,354
DF	✗	ECO2+TCE	0,484

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro. *, **, *** - Estatisticamente significativo a 10, 5 e 1%, respetivamente

5.3. Discussão de resultados e implicações de política

Nesta secção procuramos fazer um resumo de todas as conclusões possíveis de fazer com os resultados apresentados nas duas últimas secções. Para facilitar esta discussão, apresentamos na *tabela 17* um resumo das hipóteses e da verificação ou não das mesmas através dos resultados deste estudo, bem como a validação destas mesmas hipóteses ou não por parte de outros autores.

Através da aplicação do modelo de dados em painel de vetor autorregressivo (VAR) foi possível validar a hipótese EKC, mesmo quando se introduziram outras variáveis explicativas no modelo como o consumo de energia, o consumo de energia renovável, a dependência do petróleo, o crescimento populacional e o desenvolvimento financeiro. Logo, a H1a verifica-se mesmo com a inclusão de outras variáveis explicativas no modelo. Este resultado era expectável pois já na literatura tinha sido apontado que a EKC verifica-se se os países já estão em níveis de desenvolvimento elevados o suficiente (como no caso da nossa amostra dos 20 países da UE), ou seja, verifica-se se aumenta a preocupação das pessoas com o meio ambiente, com o aumento do rendimento e com o desenvolvimento tecnológico (Balsalobre et al., 2018). Todavia, não nos foi possível validar a hipótese da forma EKC em N, talvez devido ao nível de desenvolvimento e crescimento económico já alcançado pelos países em análise também. Foi ainda possível constatar uma relação bidirecional entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico pelos testes de causalidade de Granger efetuados.

Contrariamente a Antonakakis et al. (2017), não questionamos a eficácia das políticas governamentais para promover o consumo de energia renovável como forma de crescimento

sustentável (os autores não confirmam que o consumo de energias renováveis conduz ao crescimento económico), pois os nossos resultados parecem indicar que as políticas de promoção de consumo de energia renovável estão a produzir os efeitos desejáveis em termos de emissões de CO₂ (quando significativo, o consumo de energia renovável revelou um sinal de coeficiente negativo de impacto sobre as emissões). Todavia, o consumo de energia ainda conduz ao aumento das emissões de CO₂, como evidenciam os nossos resultados, assim como o crescimento económico, levando-nos a questionar se o consumo ainda excessivo de fontes de energia fóssil, dado os ainda elevados níveis de dependência do petróleo destes 20 países em análise, não estejam a condicionar o crescimento sustentável (uma das metas da Europa 2020). Deste modo, os responsáveis políticos devem fazer maior pressão para a substituição do consumo/produção de energia por consumo/produção de energia renovável, para que se reduza a dependência por fontes de energia fósseis (redução da dependência do petróleo) e assim promover o desejável crescimento sustentável ao nível da UE. Também Wang et al. (2011) afirmam que a diminuição do consumo de energia, mais propriamente de energia fóssil, reduziria as emissões de CO₂, apenas aumentando o consumo de energias limpas.

Foi possível observar que as emissões do período anterior provocam um impacto positivo e significativo sobre as emissões do período corrente, levando à conclusão que o nível de emissões anteriores influenciam negativamente a degradação ambiental permitindo este prolongamento crescente ao longo do tempo. Também o crescimento económico exerce um impacto positivo sobre as emissões de CO₂ numa fase inicial, e conseguimos validar a hipótese EKC independentemente da inclusão de novas variáveis na relação. Verifica-se ainda um efeito positivo e significativo (apesar de não ser em todas as diferentes especificações do modelo) do consumo de energia, cujo resultado foi ainda corroborado pelo teste de causalidade de Granger, mas unidirecional. Contrariamente, Wang et al. (2011) concluem a favor de uma relação bidirecional entre consumo de energia e emissões de CO₂. Deste modo, os resultados parecem indicar que tanto as emissões do período anterior, o crescimento económico e o consumo de energia são fatores relevantes para explicar a degradação ambiental favorecendo os resultados de Arouri et al. (2012) e de Kasman, & Duman (2015).

Também na literatura encontramos evidências mistas na relação entre o crescimento económico e o consumo de energia. Pelos testes de causalidade de Granger aqui apresentados podemos afirmar que o crescimento económico causa unidireccionalmente o consumo de energia, assim como Narayan, & Popp (2012) concluem a favor desta relação positiva entre as duas variáveis, mas apenas em alguns dos países analisados. Os mesmos autores encontram ainda evidências de um impacto negativo do crescimento económico sobre o consumo de energia, para outros países que faziam parte da sua amostra.

Tabela 17 - Resumo da validação de hipóteses em estudo

Hipóteses	Validação nossa	Autores	Validação Autores
H1a: Há evidência da hipótese EKC nos países da UE.		Kuznets (1955) Agras, & Chapman (1999) Roca et al. (2001) Andreoni, & Levinson (2001) Dinda (2004) Özokcu, & Özdemir (2017)	
		Mazur et al. (2015) Esmailpour Moghadam, & Dehbashi (2017)	
H1b: Existe evidência de uma relação na forma de N entre crescimento económico e degradação ambiental nos países da UE.		Grossman, & Krueger (1991) Moutinho et al. (2017) Boamah et al. (2018) Balsalobre-Lorente et al. (2018)	
H2a: Existe uma relação direta entre o consumo de energia e a degradação ambiental.	(+ ¹) (Apenas em Granger)	Arouri et al. (2012) Kasman, & Duman (2015) Wand et al. (2011)	+ + Bidirecional
H2b: Existe uma relação direta entre o consumo de energia e o crescimento económico.	²	Narayan, & Popp (2012) Narayan, & Popp (2012) Chotanawat et al. (2008)	+ TCE => - CE -
H3a: Existe uma relação inversa entre desenvolvimento financeiro e degradação ambiental.	(- ³)	Sadorsky (2010), Cole & Elliot (2005) Salahuddin et al. (2018) Dogan, & Turkelul (2016) Boysen et al. (2016) Esmailpour Moghadam, & Dehbashi (2017)	 + DF => + CE => + ECO2
		Tamazian et al. (2009) Tamazian, & Bhaskara Rao (2010) Shahbaz et al. (2013) Jalil, & Feridun (2011)	 - DF => - ECO2
H3b: Existe uma relação direta entre o desenvolvimento financeiro e o crescimento económico.	⁴ (Apenas Granger)	Dogan, & Turkelul (2016) Boysen et al. (2016) Esmailpour Moghadam, & Dehbashi (2017) Salahuddin et al. (2018)	DF => + CE => + ECO2 TCE + CE => +ECO2
H4: A elevada dependência do petróleo tem uma relação direta com a degradação ambiental.	(- ⁵)	Lotfalipour et al. (2010) Gregg et al. (2008)	 +
H5: Existe uma relação inversa entre o consumo de energia renovável e as emissões de CO ₂ .	(- ⁶)	Hu et al. (2018) Inglesi-Lotz, & Dogan (2018) Sinha, & Shahbaz (2018) Balsalobre-Lorente et al. (2018)	 -
		Mathiesen et al. (2011) Apergis, & Payne (2010) Shahbaz et al. (2012) Sbia et al. (2014)	 + CER => + TCE
H6: Existe uma relação direta entre o crescimento populacional e a degradação ambiental.	(- ⁷)	Dogan, & Turkelul (2016) Sharif Hossain (2011) Xu, & Lin (2015) Katircioglu, & Katircioglu (2018) Zhang, & Lin (2012)	 + AP=> + CE => +ECO2
		Hart (2013) Sharif Hossain (2011)	 -

Fonte: Elaboração Própria. ¹ Nem sempre significativo; ² Os resultados revelam que é o crescimento económico que causa o consumo de energia. ³ O impacto do desenvolvimento financeiro sobre as emissões de CO₂ é negativo mas não significativo. ⁴ O desenvolvimento financeiro tem de ser considerado em conjunto com as emissões de CO₂ para terem impacto no crescimento económico (causalidade de Granger). ⁵ O impacto da dependência do petróleo sobre as emissões de CO₂ é negativo mas não significativo. ⁶ Quando significativo o consumo de energia renovável tem um impacto negativo sobre as emissões de CO₂. Inclusivamente, os testes à causalidade de Granger revelam que as emissões de CO₂ e o consumo de energia renovável causam o crescimento económico. ⁷ Foi detetada uma relação inversa (negativa) e significativa entre crescimento populacional e emissões de CO₂.

Existe ainda evidência de que uma diminuição do consumo de energia conduz a um aumento superior do crescimento económico nos países desenvolvidos do que nos países em desenvolvimento (Chotanawat et al., 2008).

Uma outra conclusão passível de retirarmos desta análise é a de que o desenvolvimento financeiro apresenta um sinal de coeficiente negativo sobre as emissões de CO₂. Contudo, não podemos afirmar de forma plausível que o desenvolvimento financeiro melhora a degradação ambiental pois os resultados não se mostraram estatisticamente significativos.

Pelos resultados da causalidade de Granger foi ainda possível aferir que o desenvolvimento financeiro causa o crescimento económico e que simultaneamente, as emissões e o desenvolvimento financeiro também conduzem a crescimento económico. Também na literatura existem evidências de que o desenvolvimento financeiro leva à melhoria ambiental (reduzindo as emissões) talvez porque cada vez mais haja um volume superior de financiamento para empresas mais eficientes na proteção do ambiente (Jalil, & Feridun, 2011; Shahbaz et al., 2013, entre outros).

Tanto a dependência do petróleo como o desenvolvimento financeiro são variáveis que revelaram sinal negativo nas estimações mas o mesmo era não significativo. Os países em análise ainda têm uma excessiva dependência por parte de fontes de energia fóssil e o sinal de coeficiente pode ser explicado pelas oscilações de preços. Um aumento do preço do petróleo conduz à diminuição do consumo de energia e fomenta a alternativa de preferência de consumo de energia através de fontes de energia renováveis. Esta relação inversa entre preço do petróleo e consumo de energia para países importadores foi verificada por Jiménez-Rodríguez, & Sánchez (2005).

Usar energias renováveis de facto diminui a dependência energética (Yazdi, & Shakouri, 2018). Os nossos resultados evidenciam que, quando significativo o impacto do consumo de energia renovável sobre as emissões de CO₂ é negativo, tal como evidenciam Hu et al. (2018), Inglesi-Lotz, & Dogan (2018) e Sinha, & Shahbaz (2018) para países em desenvolvimento, mas existindo evidência desta relação negativa também em países desenvolvidos (Balsalobre-Lorente et al., 2018). Logo, neste grupo de 20 países da UE, podemos afirmar que se tem vindo a fazer um esforço grande para aumentar o consumo de energias renováveis e diminuir a dependência energética. Algo explicado pela transposição de normas da UE internamente em cada estado-membro mas também como forma de conseguir continuar a crescer em termos económicos, uma vez que o consumo de energias renováveis aumenta o crescimento económico (Sbia et al., 2014; entre outros) e diminui a dependência energética, tornando os países menos sensíveis às oscilações de preço do petróleo (Jiménez-Rodríguez, & Sánchez, 2005; Yazdi, & Shakouri, 2018). Foi ainda possível verificar

que apenas quando consideramos o conjunto das emissões de CO₂ com o consumo de energias renováveis é que conseguimos obter uma relação unidirecional entre estas e o crescimento económico.

Finalmente foi possível concluir sobre o impacto negativo e significativo do aumento populacional sobre as emissões de CO₂. Logo, os resultados parecem indiciar que o aumento populacional acaba por diminuir a degradação ambiental. Também Sharif Hossain (2011) concluem neste sentido e uma explicação plausível pode passar pelo facto de um maior crescimento populacional estar em grande parte relacionado com mais crianças. As novas gerações têm uma maior consciência ambiental e são mais bem preparadas no sentido de consciência ambiental, quer seja por via de induzirem nos pais um espírito mais ambientalmente consciente (via reciclagem ou via alteração de comportamentos e hábitos) ou pelo facto de os pais estarem mais consciencializados e quererem deixar um legado aos seus filhos de crescimento e desenvolvimento sustentável (Hart, 2013). Parece assim, que pelo menos neste grupo de países da UE se têm vindo a alterar hábitos de consumo e produção e que também se verificam que existem cada vez mais pessoas mais conscientes ambientalmente.

Em termos de políticas a seguir, os decisores políticos deveriam de reforçar a substituição do consumo de energia fóssil por fontes de energia alternativa e mais sã em termos ambientais, pois isso contribui em grande parte para a diminuição da dependência energética destes países e que pode contribuir para um estilo de vida mais saudável e ambientalmente ainda mais consciente. Para isso é necessário também que as pessoas com mais idade tomem consciência da necessidade de alterar hábitos de consumo, começando a preferir produtos de empresas mais eficientes na proteção do ambiente ou a efetuar um consumo de energia mais sustentável (a exigência acaba por impor alterações em termos de produção) e a alterar hábitos (Hart, 2013) como os relativos a reciclagem e reutilização, bem como ao tratamento de resíduos e da utilização que fazem, nem sempre eficiente, dos recursos naturais que têm ao dispor.

6. Conclusões

Neste trabalho analisámos os fatores que afetam as emissões de dióxido de carbono em 20 países da União Europeia no período de 1997 a 2015. Para analisar esta relação, utilizamos o modelo base da hipótese EKC e acrescentamos algumas variáveis que poderiam explicar a poluição ambiental: consumo de energia, energia renovável, desenvolvimento financeiro, dependência do petróleo e aumento populacional.

Estimamos 42 equações com todas as combinações possíveis entre as variáveis explicativas para testar a hipótese da EKC, utilizando-se para o efeito o modelo de painel de vetor autorregressivo. Com as estimações confirmamos a hipótese da EKC na forma original, independentemente da inclusão de novas variáveis à relação estimada entre emissões e crescimento, validando-se assim a importância de incluir na análise outros fatores capazes de explicar a relação EKC. Na literatura anterior em que esta hipótese EKC não foi validada já tinha sido reforçada a importância de incluir outras variáveis capazes de explicar a relação, e este foi um dos contributos do presente trabalho, a inclusão conjunta de variáveis já identificadas como relevantes para explicar a relação entre as emissões e o crescimento económico.

O consumo de energia, o nível de emissões do período anterior e o crescimento económico exercem uma influência positiva sobre a poluição ambiental, enquanto o consumo de energia renovável e o aumento populacional são fatores que melhoram a qualidade ambiental por diminuírem as emissões de CO₂. Os resultados destas estimações demonstram ainda que, ao contrário do que era esperado, o desenvolvimento financeiro e a dependência do petróleo não ajudam a explicar a curva EKC, dado que em nenhuma estimação os seus coeficientes se revelaram estatisticamente significativos. Todavia, ambos apresentam sinais de coeficientes negativos nas estimações evidenciando que são fatores importantes e que contribuem efetivamente para a redução da degradação ambiental, via redução de emissões de CO₂, a avaliar pelo facto de que, no global, os modelos revelaram significância estatística.

Também os testes de causalidade de Granger são conclusivos relativamente a algumas variáveis utilizadas neste trabalho. As únicas variáveis que apresentam uma relação de causalidade de Granger com as emissões de dióxido de carbono são, efetivamente, o crescimento económico e o consumo de energia. No entanto, encontramos outras relações de causalidade. Nomeadamente, o crescimento económico é causado pelas emissões de CO₂ em conjunto com o consumo de energia, as emissões *per si*, as emissões em conjunto com o consumo de energia renovável, as emissões conjuntamente com a dependência do petróleo, pelas emissões e o desenvolvimento financeiro em simultâneo, e pelo desenvolvimento financeiro *per si*. Por fim, o crescimento económico evidenciou também uma relação de causalidade com o consumo de energia, tendo-se reforçado a hipótese EKC pelo facto de se ter verificado uma relação bidirecional entre crescimento económico e emissões de CO₂.

Todavia este estudo apresenta algumas limitações que podem no futuro constituir oportunidades de desenvolvimento futuro. Primeiro, o facto de só estarem aqui incluídos 20 países da UE na análise acaba por ser limitativo da realidade mundial, bem como limita a análise

comparativa entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, dado existirem evidências na literatura de diferentes resultados dependendo do estado de desenvolvimento do país em análise. A escolha deveu-se por questões de disponibilidade de dados ao nível da UE e o acesso aos mesmos. Uma outra limitação deste estudo é a periodicidade dos dados pois algumas das variáveis incluídas na análise apenas estão disponíveis na frequência anual, limitando-nos também na análise por país dado não haverem séries temporais disponíveis que permitam uma correta adequação de outras metodologias de análise como o modelo VAR aplicado a séries temporais e por país. Assim poderíamos ainda relacionar as especificidades internas com alguns dos resultados aí obtidos. Uma outra possível melhoria a este estudo poderia passar pelo acréscimo ou substituição de algumas variáveis, nomeadamente a troca da dependência do petróleo que se revelou estatisticamente insignificante pela abertura comercial.

Referências

- Agras, J., & Chapman, D. (1999). A dynamic approach to the Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Ecological Economics*, 28(2), 267–277. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00040-8](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00040-8)
- Ahmad, N., Du, L., Lu, J., Wang, J., Li, H., & Zaffar, M. (2017). Modelling the CO₂ emissions and economic growth in Croatia : Is there any environmental Kuznets curve ? *Energy*, 123, 164–172. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.106>
- Andreoni, J., & Levinson, A. (2001). The simple analytics of the environmental Kuznets curve. *Journal of Public Economics*, 80(2), 269–286. [http://doi.org/10.1016/S0047-2727\(00\)00110-9](http://doi.org/10.1016/S0047-2727(00)00110-9)
- Ang, J. B. (2007). CO₂emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772–4778. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Filis, G. (2017). Energy consumption, CO₂emissions, and economic growth: An ethical dilemma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(October 2015), 808–824. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). The emissions, energy consumption, and growth nexus: Evidence from the commonwealth of independent states. *Energy Policy*, 38(1), 650–655. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.029>
- Arouri, M. E. H., Ben Youssef, A., M'henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO₂emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342–349. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.042>
- Bakirtas, T., & Akpolat, A. G. (2018). The relationship between energy consumption, urbanization, and economic growth in new emerging-market countries. *Energy*, 147, 110–121. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.011>
- Balaguer, J., & Cantavella, M. (2015). Estimating the environmental Kuznets curve for Spain by considering fuel oil prices (1874 – 2011). *Ecological Indicators*, 60, 853–859. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.006>
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂emissions? *Energy Policy*, 113(October 2017), 356–367. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- Boamah, K. B., Du, J., Boamah, A. J., & Appiah, K. (2018). A study on the causal effect of urban population growth and international trade on environmental pollution: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 5862–5874. <http://doi.org/10.1007/s11356-017-0882-5>
- Boysen, N., Briskorn, D., & Emde, S. (2016). The Relationship between Financial Development and Economic Growth during the recent Crisis: Evidence from the EU. *European Journal of Operational Research*. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.09.046>

- Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Burakov, D., & Freidin, M. (2017). Financial Development , Economic Growth and Renewable Energy Consumption in Russia : A Vector Error Correction Approach, 7(6), 39–47.
- Canova, F., & Ciccarelli, M. (2013). Panel Vector Autoregressive Models: A Survey. *Advance in Econometrics*, 32. [http://doi.org/10.1108/S0731-9053\(2013\)0000031006](http://doi.org/10.1108/S0731-9053(2013)0000031006).
- Chontanawat, J., Hunt, L. C., & Pierse, R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 209–220. <http://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2006.10.003>
- Cole, M. A., & Elliott, R. J. R. (2005). FDI and the capital intensity of “dirty” sectors: A missing piece of the pollution haven puzzle. *Review of Development Economics*, 9(4), 530–548. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9361.2005.00292.x>
- De Bruyn, S. M., Van Den Bergh, J. C. J. M., & Opschoor, J. B. (1998). Economic growth and emissions: Reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. *Ecological Economics*, 25(2), 161–175. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00178-X](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00178-X)
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Dogan, E., & Turkekul, B. (2016). CO2 emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 1203–1213. <http://doi.org/10.1007/s11356-015-5323-8>
- Douglas, H.-E., Newey, W., & Rosen, H. S. (1988). Estimating Vector Autoregressions with Panel Data. *Econometrica*, 56, 1371–1395. <http://doi.org/10.2307/1913103>
- Esmailpour Moghadam, H., & Dehbashi, V. (2017). The impact of financial development and trade on environmental quality in Iran. *Empirical Economics*, 1–23. <http://doi.org/10.1007/s00181-017-1266-x>
- Granger, C. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(Aug 1969), 424–438. <http://doi.org/10.2307/1912791>
- Gregg, J. S., Andres, R. J., & Marland, G. (2008). China: Emissions pattern of the world leader in CO 2 emissions from fossil fuel consumption and cement production. *Geophysical Research Letters*, 35(8), L08806. <http://doi.org/10.1029/2007GL032887>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series, No. 3914*(3914), 1–57. <http://doi.org/10.3386/w3914>
- Hart, R. A. (2013). Children’s participation: The theory and practice of involving young citizens in community development and environmental care (p. 206). Earthscan, London, UK and New York.

- Henderson, V. (2003). The urbanization process and economic growth: The so-what question. *Journal of Economic Growth*, 8(1), 47–71. <http://doi.org/10.1023/A:1022860800744>
- Hu, H., Xie, N., Fang, D., & Zhang, X. (2018). The role of renewable energy consumption and commercial services trade in carbon dioxide reduction: Evidence from 25 developing countries. *Applied Energy*, 211(August 2017), 1229–1244. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.019>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74. [http://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](http://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Inglesi-Lotz, R., & Dogan, E. (2018). The role of renewable versus non-renewable energy to the level of CO₂ emissions a panel analysis of sub-Saharan Africa's Big 10 electricity generators. *Renewable Energy*, 123, 36–43. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.041>
- Jalil, A., & Feridun, M. (2011). The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: A cointegration analysis. *Energy Economics*, 33(2), 284–291. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.003>
- Jiménez-Rodríguez, R., & Sánchez, M. (2005). Oil price shocks and real GDP growth: Empirical evidence for some OECD countries. *Applied Economics*, 37(2), 201–228. <http://doi.org/10.1080/0003684042000281561>
- Kasman, A., & Duman, Y. S. (2015). CO₂ emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. *Economic Modelling*, 44, 97–103. <http://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.022>
- Katircioğlu, S., & Katircioğlu, S. (2017). Testing the role of urban development in the conventional Environmental Kuznets Curve: evidence from Turkey. *Applied Economics Letters*, 25(2018), 1–6. <http://doi.org/10.1080/13504851.2017.1361004>
- Katircioğlu, S., & Katircioğlu, S. (2018). Testing the role of urban development in the conventional Environmental Kuznets Curve: evidence from Turkey. *Applied Economics Letters*, (2018), 1–6. <http://doi.org/10.1080/13504851.2017.1361004>
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 49, 45, 1–28.
- Lantz, V., & Feng, Q. (2006). Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: Where's the EKC? *Ecological Economics*, 57(2), 229–238. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.006>
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1–24. [http://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](http://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)
- Lotfalipour, M. R., Falahi, M. A., & Ashena, M. (2010). Economic growth, CO₂ emissions, and fossil fuels consumption in Iran. *Energy*, 35(12), 5115–5120. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.004>

- Love, I., & Zicchino, L. (2006). Financial development and dynamic investment behavior: Evidence from panel VAR. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 46(2), 190–210. <http://doi.org/10.1016/j.qref.2005.11.007>
- Mathiesen, B. V., Lund, H., & Karlsson, K. (2011). 100% Renewable energy systems, climate mitigation and economic growth. *Applied Energy*, 88(2), 488–501. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.001>
- Mazur, A., Phutkaradze, Z., & Phutkaradze, J. (2015). Economic Growth and Environmental Quality in the European Union Countries – Is there Evidence for the Environmental Kuznets Curve? *International Journal of Management and Economics*, 45(1), 108–126. <http://doi.org/10.1515/ijme-2015-0018>
- Moutinho, V., Varum, C., & Madaleno, M. (2017). How economic growth affects emissions? An investigation of the environmental Kuznets curve in Portuguese and Spanish economic activity sectors. *Energy Policy*, 106(October 2016), 326–344. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.069>
- Narayan, P. K., & Popp, S. (2012). The energy consumption-real GDP nexus revisited: Empirical evidence from 93 countries. *Economic Modelling*, 29(2), 303–308. <http://doi.org/10.1016/j.econmod.2011.10.016>
- Özokcu, S., & Özdemir, Ö. (2017). Economic growth , energy , and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(April 2016), 639–647. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.059>
- Pablo-Romero, M. D. P., & De Jesús, J. (2016). Economic growth and energy consumption: The Energy-Environmental Kuznets Curve for Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1343–1350. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.029>
- Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 62(1), 85–90. http://doi.org/http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/505574/description#description
- Poland, I., & France, I. (2006). EU25 energy consumption equivalent to more than three and a half tonnes of oil per capita. *Energy*, (September), 32–34.
- Rautava, J. (2004). The role of oil prices and the real exchange rate in Russia's economy - A cointegration approach. *Journal of Comparative Economics*, 32(2), 315–327. <http://doi.org/10.1016/j.jce.2004.02.006>
- Roca, J., Padilla, E., Farré, M., & Galletto, V. (2001). Economic growth and atmospheric pollution in Spain: Discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics*, 39(1), 85–99. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00195-1](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00195-1)
- Sadorsky, P. (2010). The impact of financial development on energy consumption in emerging economies. *Energy Policy*, 38(5), 2528–2535. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.048>

- Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I., & Sohag, K. (2018). The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO₂ emissions in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(February), 2002–2010. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.009>
- Sbia, R., Shahbaz, M., & Hamdi, H. (2014). A contribution of foreign direct investment, clean energy, trade openness, carbon emissions and economic growth to energy demand in UAE. *Economic Modelling*, 36, 191–197. <http://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.09.047>
- Shahbaz, M., Hye, Q. M. A., 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, 109–121. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.009>
- Sharif Hossain, M. (2011). Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39(11), 6991–6999. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.042>
- Sinha, A., & Shahbaz, M. (2018). Estimation of Environmental Kuznets Curve for CO₂ emission: Role of renewable energy generation in India. *Renewable Energy*, 119, 703–711. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.058>
- Tamazian, A., & Bhaskara Rao, B. (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional economies. *Energy Economics*. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.04.004>
- Tamazian, A., Chousa, J. P., & Vadlamannati, K. C. (2009). Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: Evidence from BRIC countries. *Energy Policy*, 37(1), 246–253. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.025>
- Wang, S. S., Zhou, D. Q., Zhou, P., & Wang, Q. W. (2011). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870–4875. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.032>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data. Neurology Secrets* (2 ed). The MIT Press. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-05712-7.00031-3>
- Xu, B., & Lin, B. (2015). How industrialization and urbanization process impacts on CO₂ emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models. *Energy Economics*, 48, 188–202. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.005>
- Yang, X., Lou, F., Sun, M., Wang, R., & Wang, Y. (2017). Study of the relationship between greenhouse gas emissions and the economic growth of Russia based on the Environmental Kuznets Curve. *Applied Energy*, 193, 162–173. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.034>
- Yang, Y., Liu, J., & Zhang, Y. (2017). An analysis of the implications of China's urbanization policy for economic growth and energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1251–1262. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.207>

- Yazdi, S. K., & Shakouri, B. (2018). The globalization , financial development , renewable energy , and economic growth. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(8), 707–714. <http://doi.org/10.1080/15567249.2017.1292329>
- Zhang, C., & Lin, Y. (2012). Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO2emissions: A regional analysis in China. *Energy Policy*, 49, 488–498. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.048>

Anexo

Tabela 18 - Estatística descritiva: Alemanha

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,4360	0,0540	-4,5245	-4,3394
TCE	19	0,0232	0,0207	-0,0347	0,0508
CE	19	2,4226	0,1707	2,1303	2,6797
CER	19	-2,9487	0,6097	-3,8946	-2,1024
DP	19	-4,1959	0,1437	-4,5051	-4,0215
AP	19	-0,0388	0,4992	-1,9317	0,5325
DF	19	-0,3226	2,2444	-6,1057	5,2213

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 19 - Estatística descritiva: Bélgica

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,3708	0,1335	-4,6021	-4,2047
TCE	19	0,0277	0,0188	-0,0242	0,0551
CE	19	0,6607	0,1792	0,3964	0,9483
CER	19	-3,7092	0,7344	-4,6999	-2,6951
DP	19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
AP	19	0,5411	0,3049	0,2108	1,4828
DF	19	0,4775	3,7874	-5,9990	14,6439

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 20 - Estatística descritiva: Dinamarca

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,3867	0,1933	-4,7129	-4,1321
TCE	19	0,0286	0,0235	-0,0477	0,0605
CE	19	-0,6941	0,2178	-1,0425	-0,3024
CER	19	-1,9422	0,4437	-2,6742	-1,2520
DP	19	-6,3398	0,9900	-7,3163	-3,8356
AP	19	0,3953	0,1061	0,2550	0,6512
DF	19	1,0039	4,7447	-2,5066	20,0926

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 21 - Estatística descritiva: Eslováquia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,8934	0,0904	-5,0545	-4,7650
TCE	19	0,0856	0,0745	-0,0526	0,2381
CE	19	0,8298	0,5682	0,1178	1,6269
CER	19	-3,0342	0,4641	-3,7460	-2,3441
DP	19	-6,6643	4,1157	-9,7900	0,0000
AP	19	0,0523	0,1302	-0,3681	0,2202
DF	19	4,4176	18,9944	-1,5106	82,8007

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 22 - Estatística descritiva: Espanha

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,8572	0,1411	-5,0955	-4,6823
TCE	19	0,0331	0,0379	-0,0412	0,0818
CE	19	1,8677	0,1580	1,6508	2,1042
CER	19	-2,5256	0,3778	-2,9733	-1,8820
DP	19	-6,2158	0,7475	-7,5235	-5,2745
AP	19	0,8182	0,7780	-0,4616	1,9745
DF	19	-0,2659	1,3580	-4,9511	1,8702

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 23 - Estatística descritiva: Estónia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,3883	0,1279	-4,6120	-4,1715
TCE	19	0,1018	0,0842	-0,1382	0,2308
CE	19	-0,3523	0,4639	-0,9008	0,6276
CER	19	-2,1724	0,1443	-2,3571	-1,9393
DP	19	-3,4397	3,7767	-8,7187	0,0000
AP	19	-0,4216	0,5785	-1,3469	1,5960
DF	19	-0,2746	1,9851	-7,3825	3,1833

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 24 - Estatística descritiva: Finlândia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,7755	0,2633	-5,2224	-4,4523
TCE	19	0,0344	0,0338	-0,0712	0,0762
CE	19	0,1080	0,1590	-0,1379	0,4145
CER	19	-1,4125	0,1213	-1,5877	-1,1547
DP	19	-6,7269	1,0995	-8,7969	-5,3120
AP	19	0,3536	0,1030	0,1898	0,4873
DF	19	0,0113	4,1875	-14,7066	8,2742

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 25 - Estatística descritiva: França

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,8752	0,1118	-5,0716	-4,7257
TCE	19	0,0237	0,0189	-0,0355	0,0474
CE	19	2,2402	0,1350	2,0372	2,4506
CER	19	-2,6912	0,1634	-2,8779	-2,4041
DP	19	-4,6686	0,2751	-5,1369	-4,3133
AP	19	0,5817	0,1448	0,3429	0,7795
DF	19	0,1285	0,4710	-0,6731	1,3705

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 26 - Estatística descritiva: Grécia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,5258	0,1052	-4,7646	-4,4134
TCE	19	0,0235	0,0590	-0,0837	0,1019
CE	19	0,5365	0,1629	0,3469	0,8047
CER	19	-2,7761	0,2977	-3,0946	-2,1761
DP	19	-4,4587	3,4661	-10,2653	0,0000
AP	19	0,1333	0,4192	-0,7468	0,6020
DF	19	-0,0031	0,6995	-2,0498	1,2721

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 27 - Estatística descritiva: Holanda

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,3190	0,0829	-4,4628	-4,1697
TCE	19	0,0314	0,0270	-0,0386	0,0725
CE	19	0,8860	0,1615	0,6497	1,1974
CER	19	-3,6009	0,4230	-4,2170	-3,0568
DP	19	-2,0723	0,4264	-2,8427	-1,6225
AP	19	0,4586	0,1803	0,1456	0,7761
DF	19	-0,0972	0,7840	-2,2150	1,4547

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 28 - Estatística descritiva: Hungria

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-5,0340	0,1124	-5,2368	-4,9197
TCE	19	0,0641	0,0747	-0,1296	0,2034
CE	19	1,1958	0,3514	0,8001	1,8640
CER	19	-2,8045	0,5668	-3,4489	-2,0351
DP	19	-7,5998	3,4643	-10,1886	0,0000
AP	19	-0,2426	0,0917	-0,5387	-0,1034
DF	19	0,5239	2,8642	-1,7008	12,1018

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 29 - Estatística descritiva: Itália

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,7632	0,1388	-5,0515	-4,6353
TCE	19	0,0220	0,0258	-0,0435	0,0608
CE	19	1,9526	0,1277	1,7328	2,1471
CER	19	-2,4137	0,4208	-2,9439	-1,7399
DP	19	-6,3681	0,6978	-7,3355	-4,8351
AP	19	0,3552	0,4354	0,0083	1,8387
DF	19	0,4326	1,4764	-1,2462	5,2724

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 30 - Estatística descritiva: Letónia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-5,6638	0,5404	-6,5009	-4,8586
TCE	19	0,1100	0,1213	-0,2143	0,3205
CE	19	-0,3689	0,5219	-1,0326	0,6213
CER	19	-1,1378	0,0750	-1,2451	-1,0108
DP	19	-4,8094	3,8463	-8,4139	0,0000
AP	19	-1,1394	0,3828	-2,1645	-0,7308
DF	19	-0,8813	3,4571	-14,4720	1,9244

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 31 - Estatística descritiva: Lituânia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-5,4542	0,2002	-5,8836	-5,0490
TCE	19	0,1144	0,1089	-0,1667	0,3889
CE	19	0,2171	0,6167	-0,6244	1,2525
CER	19	-2,1889	0,3511	-2,7792	-1,5836
DP	19	-6,7830	3,0660	-9,0017	0,0000
AP	19	-1,1141	0,5405	-2,8450	-0,6698
DF	19	0,0126	2,0579	-5,4902	5,5261

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 32 - Estatística descritiva: Malta

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,9336	0,0962	-5,2841	-4,8344
TCE	19	0,0545	0,0370	-0,0067	0,1414
CE	19	-2,7244	0,2470	-3,3422	-2,2243
CER	19	-4,5326	3,1316	-8,3249	0,0000
DP	19	-1,0995	2,0405	-6,6290	0,0000
AP	19	0,7943	0,4960	0,1523	2,3909
DF	19	-0,2340	1,3149	-5,0721	1,6217

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 33 - Estatística descritiva: Polónia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,6529	0,0371	-4,6995	-4,5446
TCE	19	0,0702	0,0897	-0,1458	0,2037
CE	19	2,6199	0,3527	2,1445	3,3174
CER	19	-2,8707	0,3111	-3,2733	-2,3665
DP	19	-7,9650	0,7030	-9,2050	-5,7474
AP	19	-0,0826	0,2481	-1,0440	0,1048
DF	19	0,3091	1,1590	-0,7421	4,2611

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 34 - Estatística descritiva: Portugal

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-5,0440	0,1511	-5,2540	-4,7852
TCE	19	0,0323	0,0314	-0,0419	0,0734
CE	19	0,5175	0,1741	0,2800	0,7627
CER	19	-1,7490	0,2036	-2,0678	-1,3878
DP	19	-6,1075	1,0644	-7,9365	-4,3433
AP	19	0,1716	0,4026	-0,5720	0,7977
DF	19	0,2057	1,0346	-1,1605	3,0304

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 35 - Estatística descritiva: Reino Unido

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,5536	0,1590	-4,8734	-4,3598
TCE	19	0,0431	0,0858	-0,1348	0,2304
CE	19	1,9497	0,1686	1,5681	2,2634
CER	19	-3,8752	0,7296	-4,7554	-2,5652
DP	19	-5,0961	0,6760	-6,3014	-4,0273
AP	19	0,5829	0,2064	0,2491	0,8196
DF	19	-0,0598	1,2356	-3,7743	2,7135

Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 36 - Estatística descritiva: República Checa

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-4,3458	0,0756	-4,4893	-4,2524
TCE	19	0,0641	0,0674	-0,0839	0,1567
CE	19	1,4162	0,3743	0,9728	2,1037
CER	19	-2,8948	0,3507	-3,3256	-2,2917
DP	19	-8,0201	0,2932	-8,4982	-7,5621
AP	19	0,1100	0,3279	-0,4482	0,8698
DF	19	-0,1986	1,9486	-3,2792	4,4159

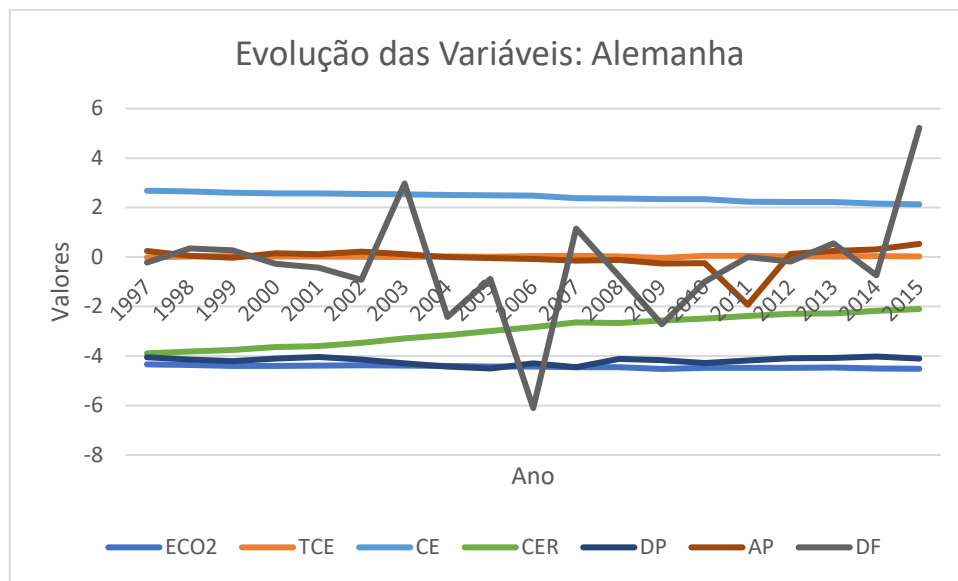
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Tabela 37 - Estatística descritiva: Suécia

Variável	OBS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MIN	MAX
ECO2	19	-6,1141	0,6571	-8,0287	-5,5299
TCE	19	0,0328	0,0641	-0,1283	0,1832
CE	19	0,3349	0,2013	-0,0052	0,6658
CER	19	-1,1908	0,1494	-1,3926	-0,8696
DP	19	-6,2815	0,3828	-7,0803	-5,5205
AP	19	0,5176	0,3330	0,0353	1,0626
DF	19	0,3243	0,7159	-0,7280	2,1088

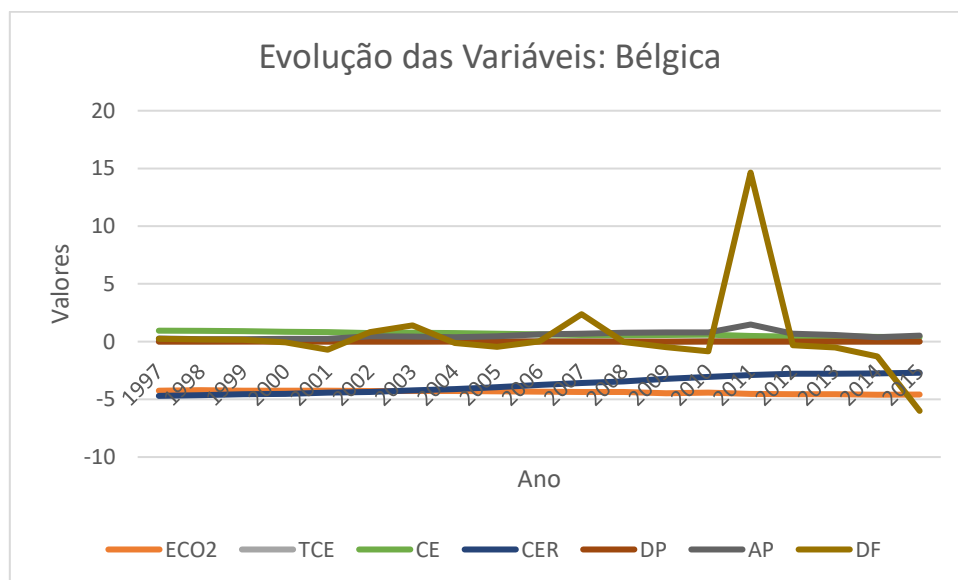
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 1 - Evolução das variáveis: Alemanha



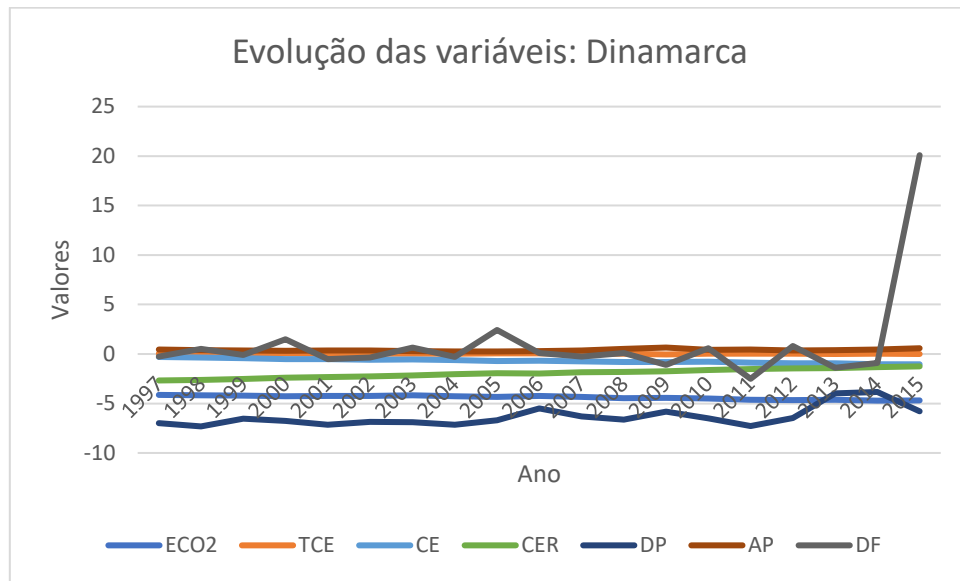
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 2 - Evolução das variáveis: Bélgica



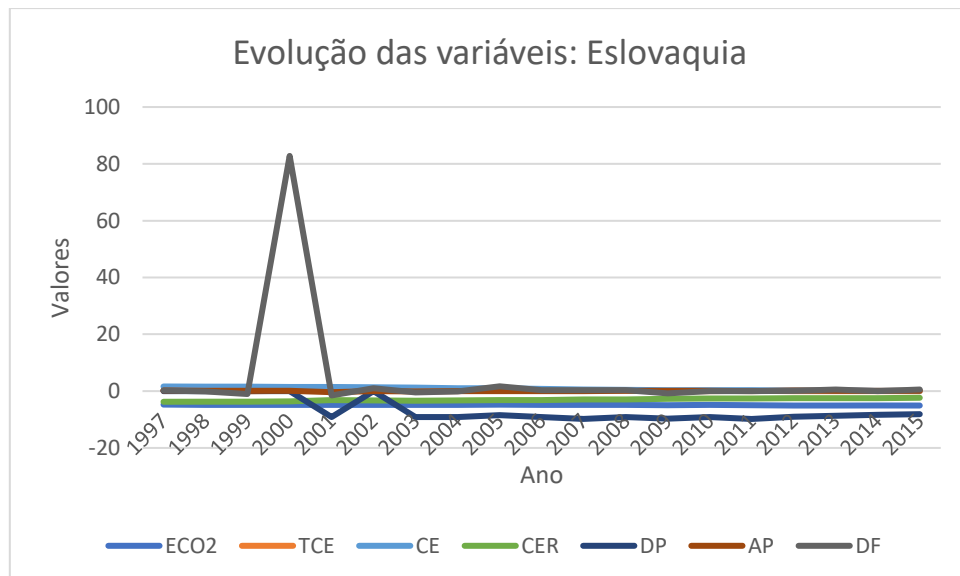
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 3 - Evolução das variáveis: Dinamarca



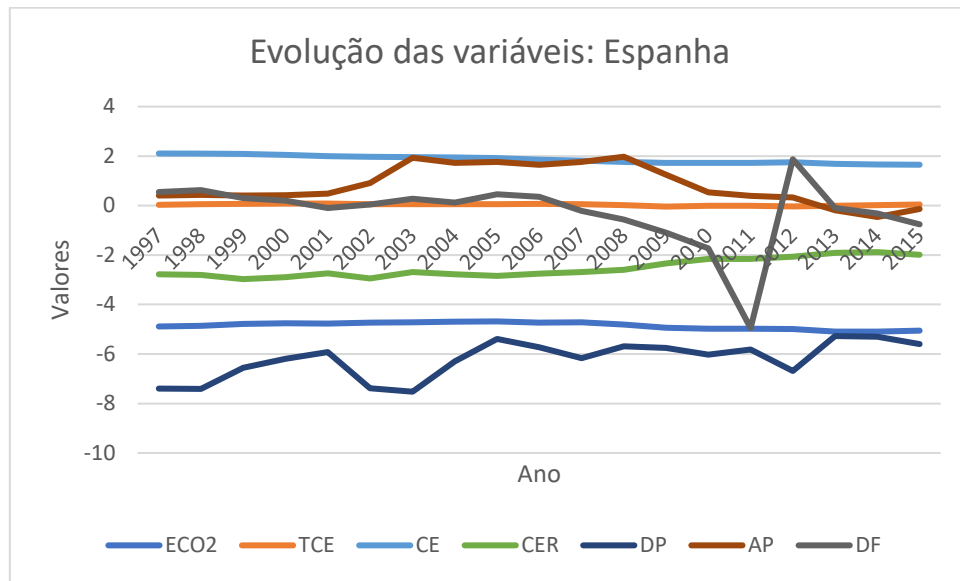
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 4 - Evolução das variáveis: Eslováquia



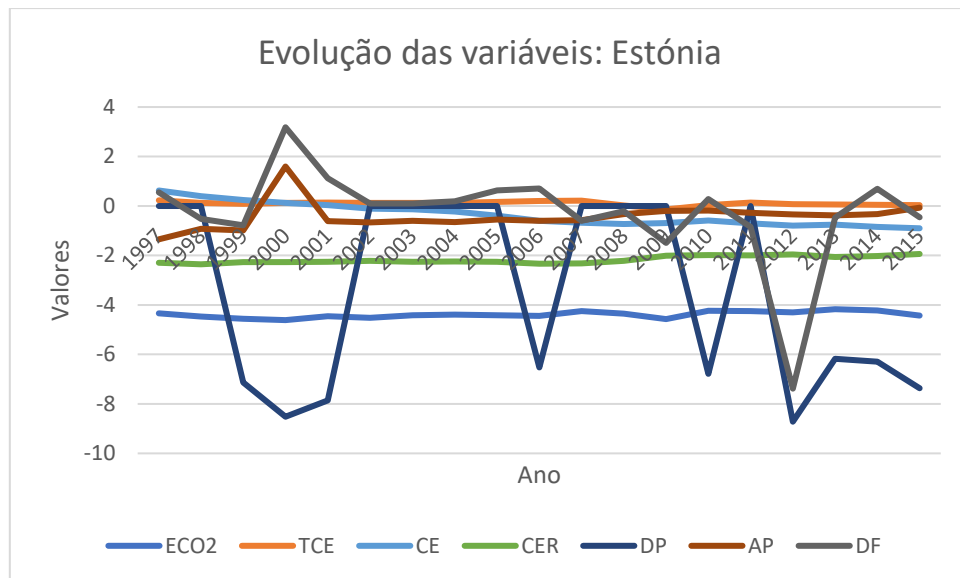
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 5 - Evolução das variáveis: Espanha



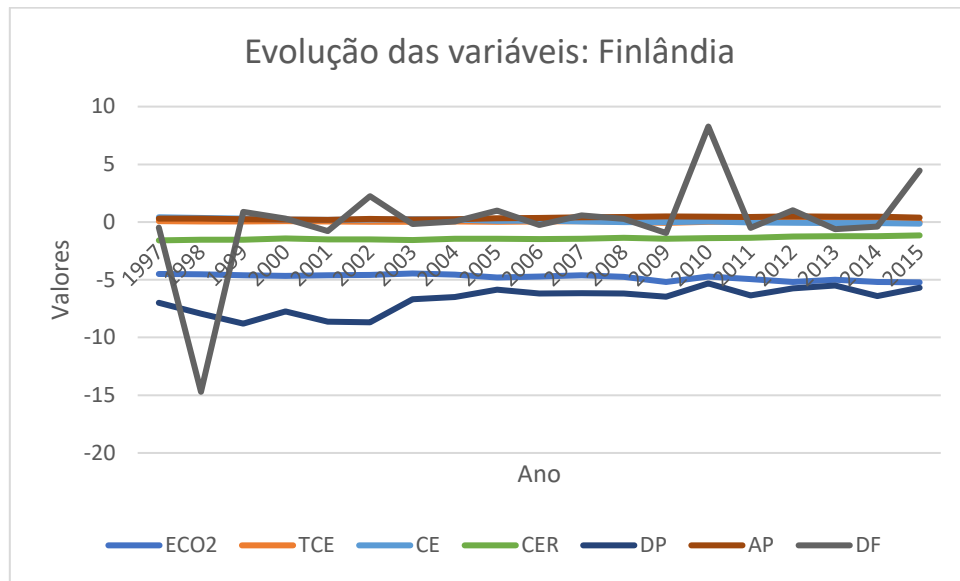
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 6 - Evolução das variáveis: Estónia



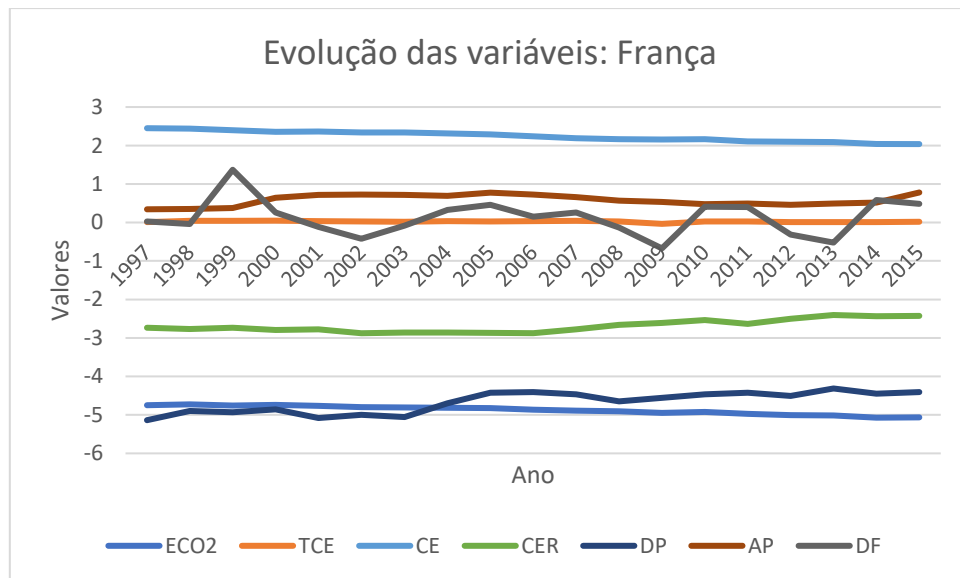
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 7 - Evolução das variáveis: Finlândia



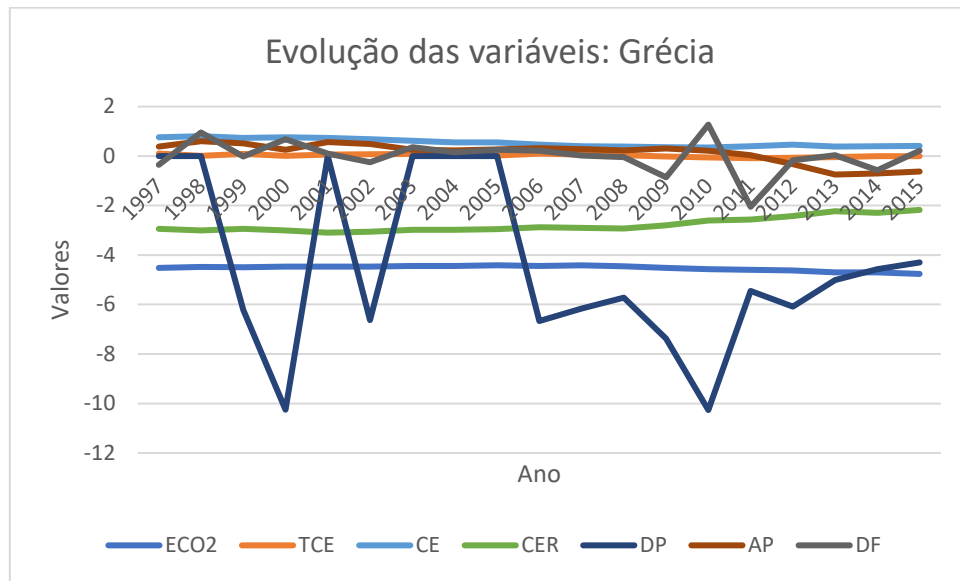
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 8 - Evolução das variáveis: França



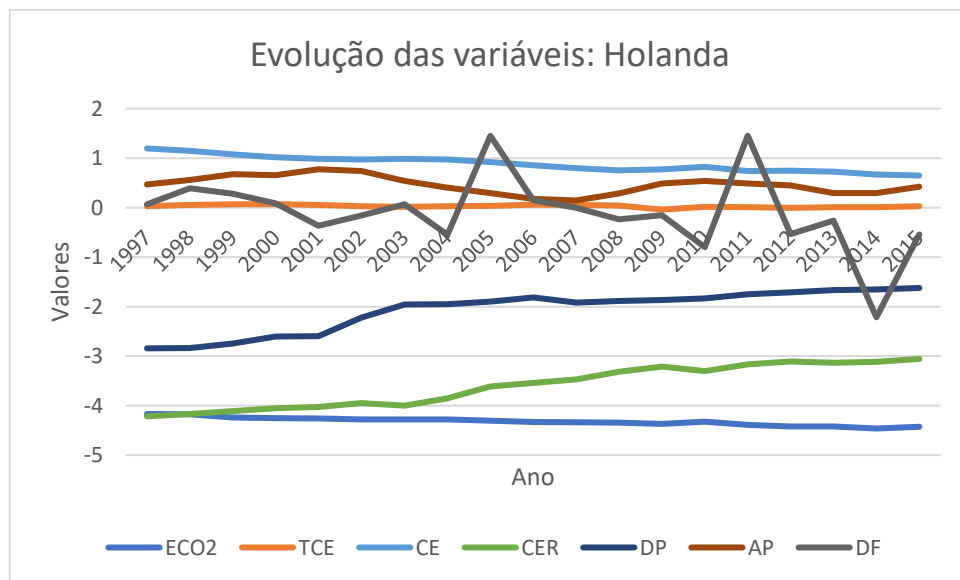
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 9 - Evolução das variáveis: Grécia



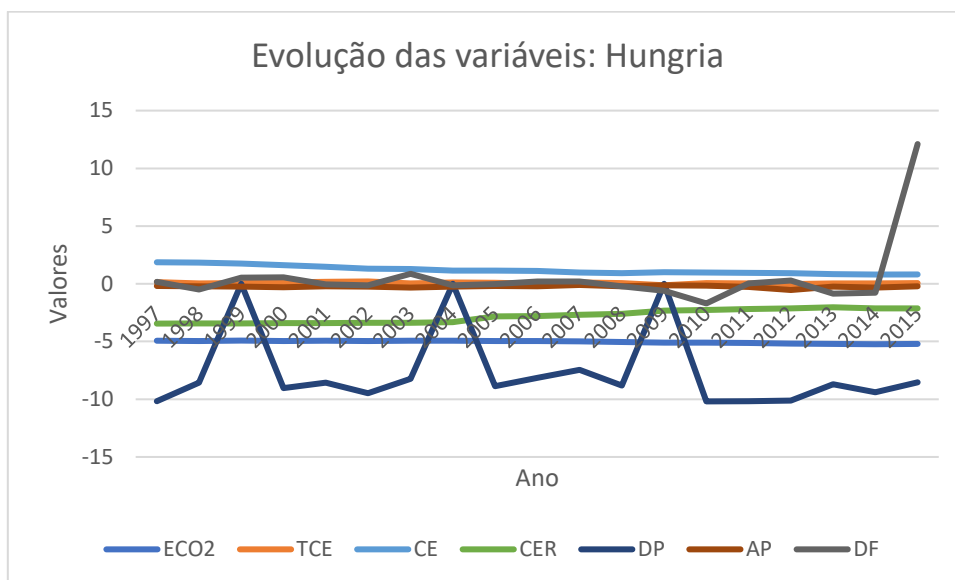
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 10 - Evolução das variáveis: Holanda



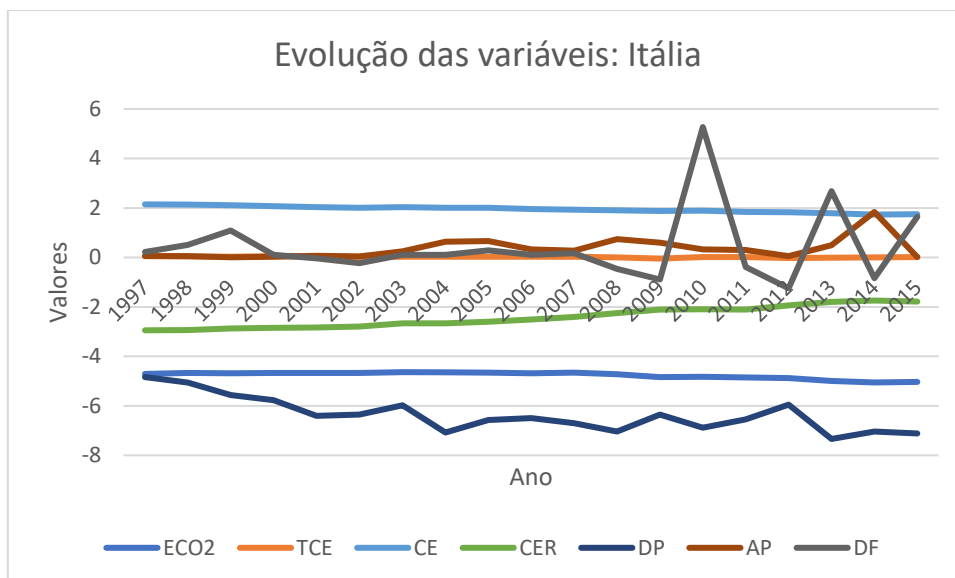
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 11 - Evolução das variáveis: Hungria



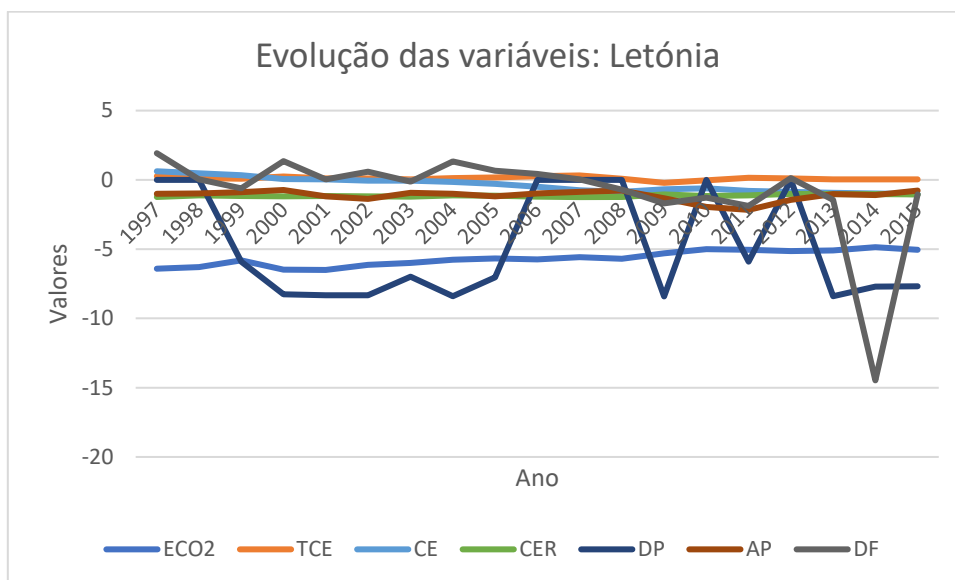
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 12 - Evolução das variáveis: Itália



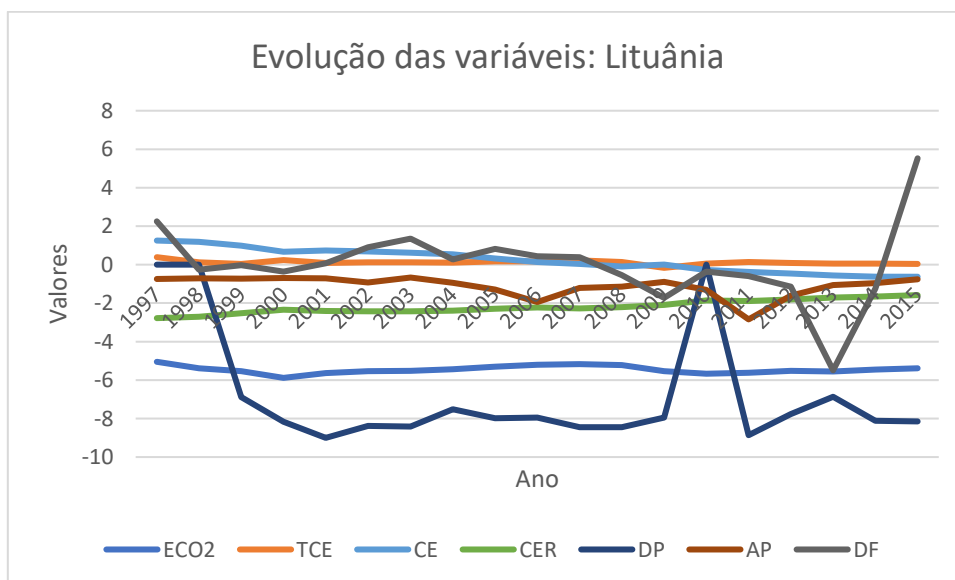
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 13 - Evolução das variáveis: Letónia



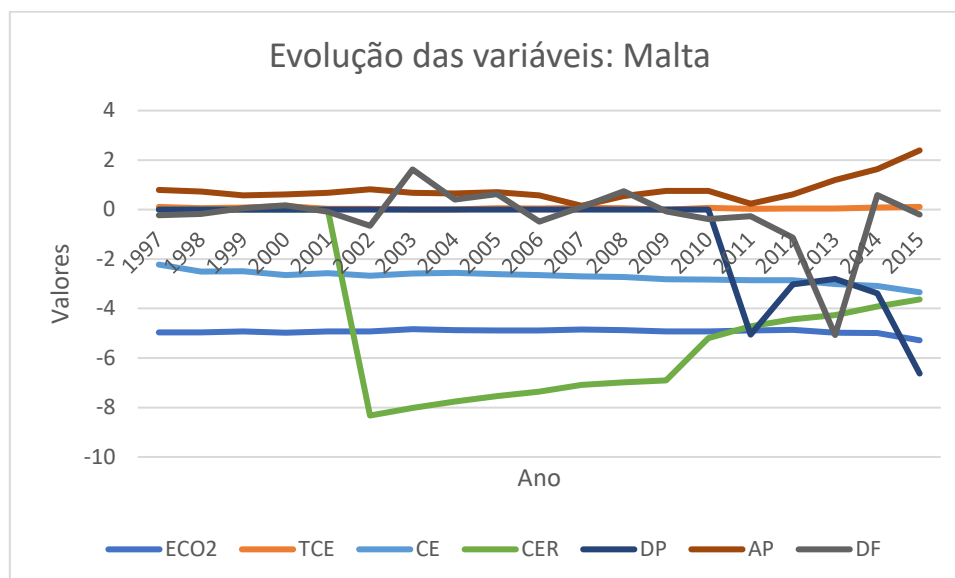
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 14 - Evolução das variáveis: Lituânia



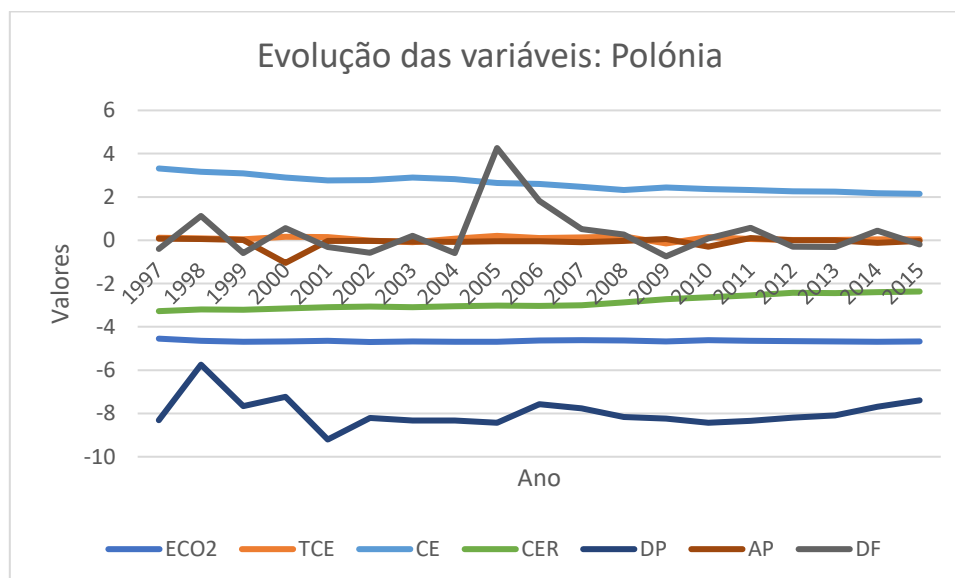
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 15 - Evolução das variáveis: Malta



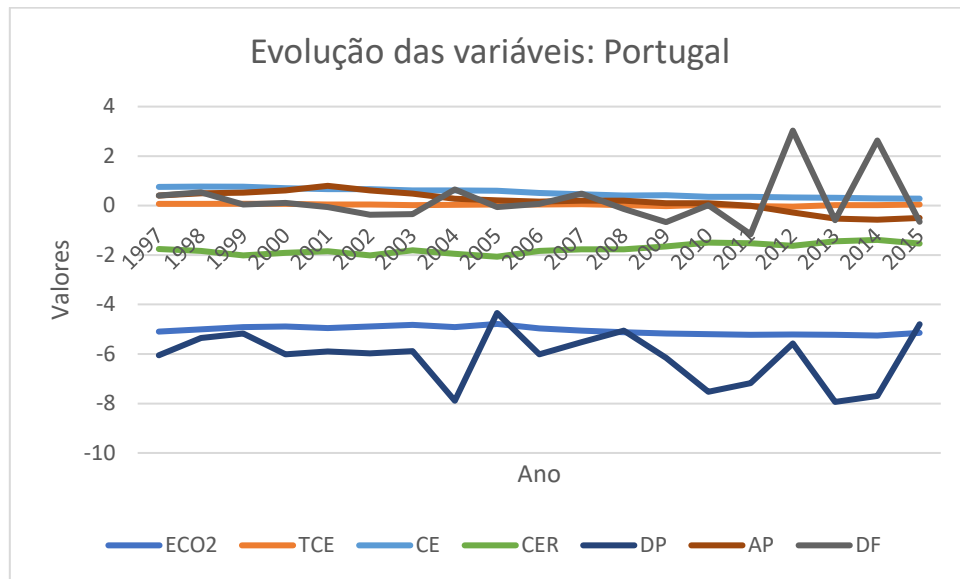
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 16 - Evolução das variáveis: Polónia



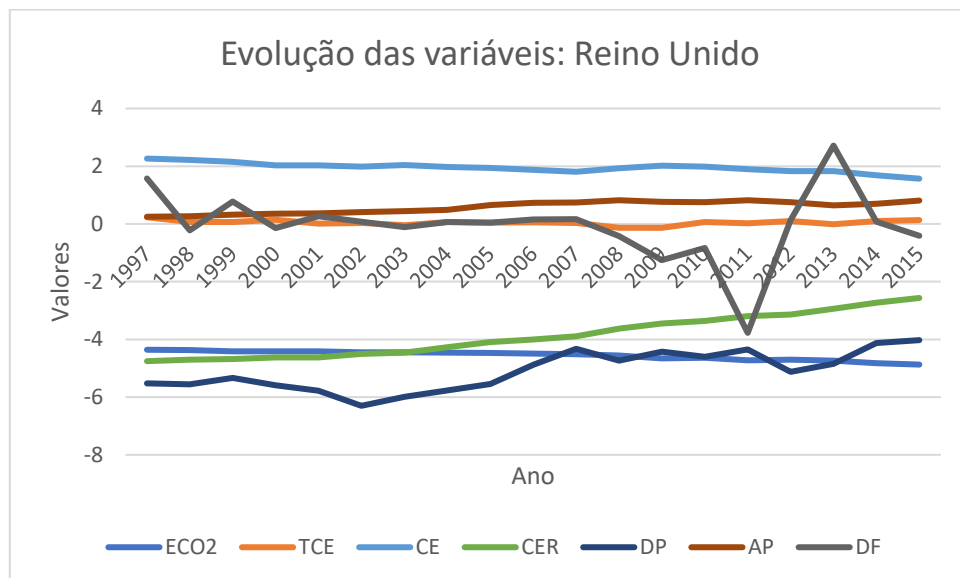
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 17 - Evolução das variáveis: Portugal



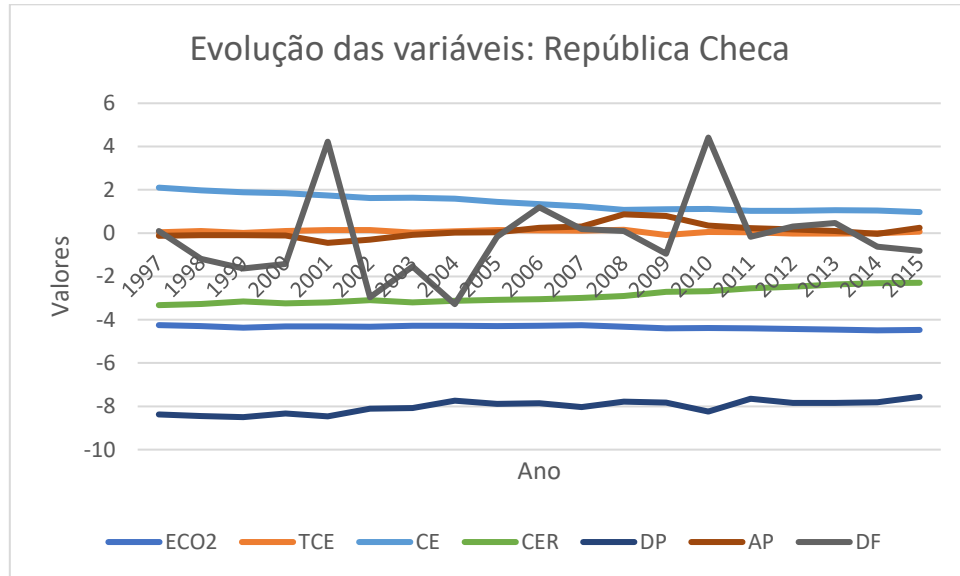
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 18 - Evolução das variáveis: Reino Unido



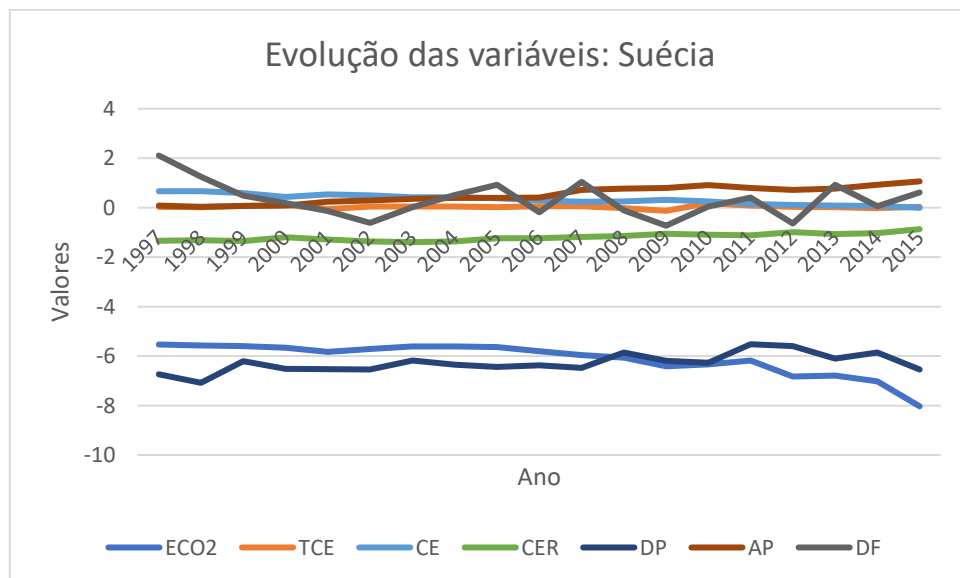
Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 19 - Evolução das variáveis: República Checa



Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.

Gráfico 20 - Evolução das variáveis: Suécia



Fonte: Elaboração própria. Nota: ECO2 refere-se ao logaritmo natural das emissões de CO2 proxy para a degradação ambiental; TCE refere-se à taxa de crescimento económico; CER refere-se ao logaritmo do consumo de energia renovável; DP refere-se ao logaritmo da dependência do petróleo; AP refere-se ao aumento populacional e DF refere-se ao desenvolvimento financeiro.