

Universidade de Évora

Economia

Departamento de Economia

Economia do Ambiente e dos Recursos Naturais

**Causalidade à Granger entre as
Emissões de CO₂ e o PIB desde 1960 a
2014 em Portugal**

Docentes: Prof. Miguel Rocha de Sousa

Discentes: Patrícia Castro nº40531

Daniela Valente nº 40983

M^a Catarina Figueiredo nº41165

Évora

Maio 2020

Resumo

O objetivo deste trabalho é identificar a relação existente entre a atividade produtiva e a qualidade ambiental. Para isso verificamos se existe causalidade à Granger entre o PIB *per capita* e a emissão de CO₂ *per capita* em Portugal no período de 1960 a 2014. Foi possível observar que as emissões de CO₂, durante este período, acompanharam o crescimento económico de Portugal tendo ambos uma tendência crescente. Para analisar se esta causalidade se verifica utilizámos uma metodologia de séries temporais. Assim, realizámos o teste de raiz unitária Dickey-Fuller aumentado (ADF), o teste de cointegração e por fim o teste de causalidade à Granger. Os resultados mostram que a série é não estacionária com as variáveis em nível logo foram estimadas as primeiras diferenças, onde se verifica a estacionaridade da variável CO₂, e as segundas diferenças, onde se verifica a estacionaridade da variável PIB. Não foi possível encontrar nenhuma relação de longo prazo entre as variáveis estudadas existindo, no entanto, causalidade entre a aceleração do PIB e o CO₂. Em suma, a aceleração do PIB leva ao crescimento da economia e posteriormente a um aumento das emissões de CO₂.

Palavras-chave: PIB *per capita*, Emissão de CO₂; Portugal

Classificação JEL: C33, Q50, Q56

Abstract

The objective of this work is to identify the relationship between the productive activity and environmental quality. For that we will verify the Granger causality between GDP *per capita* and CO₂ emissions in Portugal between 1960 and 2014. It was possible to observe that the CO₂ emissions follow the same path as the economic growth of Portugal in this period, having both a tendency to grow. To analyze whether this causality is verified we used a time series methodology. We performed the Dicky-Fuller Augmented (ADF) unit root test, the cointegration test and, finally, the Granger causality test. The results show that the series is non-stationary with the variables level, so the first differences were estimated, where the CO₂ variable is stationary, and the second differences, where the GDP variable is stationary. It was not possible to find any long-term relationship between the studied variables, however, there is a causality between the acceleration of GDP and CO₂. In short, an acceleration of GDP leads to economic growth and subsequently an increase in CO₂ emissions.

Keywords: GDP *per capita*; CO₂ emissions; Portugal

Índice

1. Introdução	5
2. Revisão de literatura	7
3. Dados	9
4. Metodologia	12
6. Resultados	14
7. Conclusão	20
8. Bibliografia	21

Introdução

No âmbito da unidade curricular de Economia do Ambiente e dos Recursos Naturais, do 6º semestre da licenciatura em Economia, lecionada pelo Professor Doutor Miguel Rocha de Sousa, foi proposta a elaboração de um trabalho com um tema à nossa escolha relacionada com as temáticas desenvolvidas em aula, sujeito a aprovação.

A sustentabilidade ambiental e o crescimento económico são fontes de pesquisa e aprofundamento de debates na nossa sociedade. Nas últimas décadas, o PIB *per capita* e as emissões de CO₂ *per capita* em Portugal foram aumentando anualmente de forma não linear até 2005 onde foi notória uma quebra nos valores. Sabe-se que o CO₂ é o principal gás a ser emitido pela queima de combustíveis fósseis utilizados na produção de energia e transportes, principalmente. Os efeitos da emissão deste gás tem tido efeitos negativos no nosso planeta sendo que a emissão dos gases de efeito estufa são os principais responsáveis pelo aquecimento global. Estas alterações climáticas é um assunto de grande importância visto que existe uma grande preocupação sobre a sustentabilidade do desenvolvimento económico. Atividades como a geração de energia, agricultura e processos industriais são responsáveis grande parte das emissões de CO₂. Estas estão ligadas com o desenvolvimento da atividade económica sugerindo assim uma forte ligação entre as emissões e o crescimento económico. Assim, será interessante verificar se a economia portuguesa contribui para o desenvolvimento sustentável das emissões de CO₂.

O presente trabalho tem como objetivo investigar empiricamente – utilizando séries temporais – a causalidade à Granger entre o PIB *per capita* e as emissões de CO₂. No fundo, queremos entender se o desenvolvimento económico em Portugal tem impacto nas emissões de CO₂, ou vice-versa, e para tal estudamos o período de 1980 a 2015.

O trabalho está constituído por 5 partes, estruturadas de seguinte forma:

Na primeira parte temos o capítulo introdutório onde apresentamos uma breve contextualização do tema analisado. Na segunda parte apresentamos uma breve revisão de literatura onde analisámos 5 artigos científicos que nos permite analisar diferentes formas de estudar o impacto das emissões de CO₂ no desenvolvimento económico de diferentes países.

Na terceira parte apresentamos as estatísticas descritivas referentes às emissões de CO₂ e ao PIB *per capita* em Portugal. Também neste capítulo introduzimos o modelo por nós estimado e a metodologia que aplicámos para concretizarmos o nosso objetivo. A metodologia consiste na aplicação de testes de raiz unitária, testes de cointegração e testes de causalidade à Granger. Na quarta parte é apresentada a compilação dos resultados obtidos através da metodologia anteriormente aplicada e uma discussão dos mesmos. Na última parte são apresentadas as conclusões do estudo realizado.

Posto isto, e depois de delineado o plano de trabalho, estamos aptas para começar a trabalhar e procurar responder às questões às quais nos comprometemos a responder desde início.

Revisão de Literatura

Referências	Período e Área Geográfica	Variáveis	Metodologia	Conclusões
(Paulo Roberto Vieira de Almeida, Reginaldo Santana Figueiredo, Yanna Luísa Eterna Duarte, Ângela Tognon; 2016)	1960-2011 Brasil	PIB per capita (PIB_t), e emissão de CO_2 ($ECO2_t$).	Teste de Raiz Unitária (Dickey-Fuller Aumentado), Teste Engle e Granger para testar a cointegração, Causalidade à Granger	Verifica-se a não estacionaridade através do teste Dickey-Fuller Aumentado das séries, a cointegração com 1 desfasamento, causalidade à Granger simultânea o que significa que quando aumenta-se o PIB per capita tem efeito de escala na emissão de CO_2 .
(Ana Beatriz de Mateus Cavalheiro, 2018)	1960-2014 1980-2014 Portugal	PIB, produção de eletricidade de renovável emissões totais de CO_2 e emprego no sector electroprodutor	Testes de raiz unitária (Dickey-Fuller aumentado), Correlogramas Cruzados, Testes de Causalidade, Cointegração (teste de Johansen) e Modelo Corretor do Erro (VECM)	Neste artigo, no período entre 1960 e 2014, verificámos que as séries são não estacionárias caso as variáveis estejam em logaritmo. Em nível estas apresentam estacionaridade. Assim o autor tratou os dados de 2 formas. Primeiro tratou da série estacionária através do correlograma cruzado onde verificou a correlação entre o PIB de as Emissões totais de CO_2 e as Emissões totais de CO_2 e a Produção de Eletricidade Renovável. Neste período conclui-se também que não existem relações de causalidade entre as variáveis estudadas. Entre 1980-2014 as variáveis são não estacionárias. Após a análise dos correlogramas cruzados, apenas se nota um aumento de correlação entre o PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor. Verificou-se uma causalidade entre PIB e a Produção de Eletricidade Renovável. Nos testes de cointegração realizados concluiu-se que as variáveis PIB, Produção de Eletricidade Renovável e Emissões de CO_2 . De seguida é estimado o VECM para as variáveis em nível que se conclui que as relações de curto prazo fundamentam-se nas relações de longo prazo existentes entre as variáveis,

Referências	Período e Área Geográfica	Variáveis	Metodologia	Conclusões
(Camila Albornoz Brufao, 2013)	1971-2009 Estados Unidos, Alemanha, Brasil, China	CO ₂ , PIB, PIB ² , PIB ³	Modelo Teórico Modelo Empírico Hipóteses	Análise de 2 versões da hipótese CKA, uma em formato de U-Invertido e outra em formato de N. O formato U-invertido mostra que quando o crescimento de renda ocorre, diminuem os danos ambientais. Já o formato de N apenas acrescenta o facto de que um nível de renda muito elevado aumenta os danos ambientais. Após a estimação da equação para o Brasil, apenas o PIB é significativo e não se verifica nenhuma versão da hipótese de CKA. No caso da China, o PIB, PIB ² , PIB ³ são significativos, verificando-se a CKA em formato N. Os Estados Unidos apresentam os mesmos resultados da China sendo também verificada a mesma versão da hipótese de CKA. Quando estimado o modelo para a Alemanha esta apenas apresenta o PIB e o PIB ² são significativos verificando-se versão CKA em formato de U-invertido.
(Jacobo Campo Robledo, Wilmer Olivares, 2013)	1985-2007 Colômbia, Indonésia, Vietname, Egipto, Turquia e África do Sul	PIB <i>per capita</i> , CO ₂ , consumo de energia, PIB ² . Dados das variáveis de cada país em logaritmo	Dados em painel; Teste de Raiz Unitária em séries unitárias e em modelo painel; Teste de cointegração em painel	Os autores começaram por fazer um teste de raiz unitária onde se conclui que as séries são não-estacionárias em nível e estacionárias com desfasamentos. De seguida foi realizado o teste de cointegração que permitiu auferir que existe uma forte evidência estatística que as variáveis são cointegradas. Assim, os resultados obtidos sugerem que existe uma relação de causalidade entre as emissões de CO ₂ e o PIB e com o consumo de energia. Isto implica que, a longo prazo nos países estudados, o crescimento económico é um determinante das alterações climáticas através das emissões de CO ₂ .
(Cleyzer Adrian Cunha; Paulo Roberto Scalco, 2013)	1980-2006 Brasil	PIB <i>per capita</i> , emissões de CO ₂ . ambas em logaritmo	Séries Temporais; Teste de Raiz Unitária (DF); Teste de Cointegração (teste do traço e da raiz); Teste Causalidade à Granger	Utilizando o logaritmo das variáveis de modo a facilitar a análise, os parâmetros estimados correspondem às elasticidades. Os autores testaram a hipótese de raiz unitária utilizando o teste Dickey-Fuller concluindo que ambas as séries são estacionárias em primeira diferença e integradas de ordem um I(1). De seguida foi caracterizada a relação entre as variáveis com o teste de cointegração de Johansen concluindo que existia uma combinação linear entre os logaritmos das variáveis. Por último foi utilizado o teste de causalidade à Granger entre as emissões de CO ₂ e o PIB per capita onde foi possível inferir que existe uma relação de longo prazo entre as variáveis.

Tabela 1: Casos de estudos seleccionados sobre o estudo da relação entre o crescimento económico e as emissões de CO₂, utilizando métodos econométricos

Dados

Uma vez que estamos na presença de uma série temporal, ou seja, uma coleção de observações feitas ao longo do tempo, vamos utilizar o método de estimação MMQ (método dos mínimos quadrados).

A variável dependente (Y) será o nível de produto *per capita* com base em 2016 (PIB), sendo que a variáveis dependentes (X) serão as emissões de CO₂. O modelo a estimar é o seguinte:

$$PIB = \beta_0 + \beta_1 CO_2$$

Os dados usados são referentes a Portugal, sendo estes referentes aos anos compreendidos entre 1960 e 2014. Todos os dados foram retirados da base de dados do PORDATA e IndexMundi.

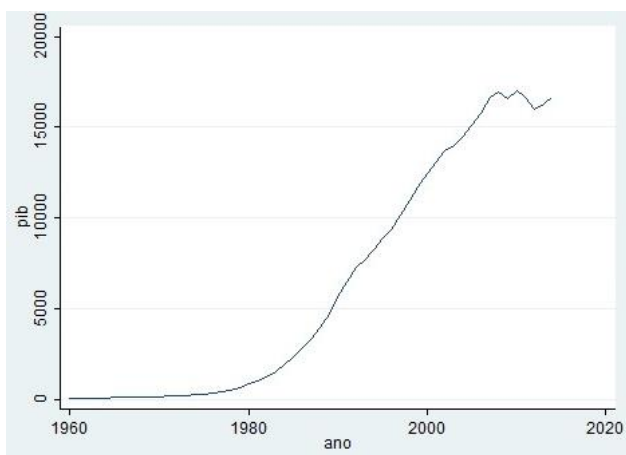


Gráfico 1: Variável PIB *per capita*

pib				
Percentiles				
		Smallest		
1%	56.2	56.2		
5%	64.7	58.1		
10%	84.4	64.7	Obs	55
25%	222.2	66.6	Sum of Wgt.	55
50%	3318		Mean	6280.309
		Largest	Std. Dev.	6507.485
75%	13102.3	16644.6		
90%	16598.4	16679.6	Variance	4.23e+07
95%	16679.6	16963.4	Skewness	.5047412
99%	16987.5	16987.5	Kurtosis	1.610572

Output 1: Estatística descritiva da variável PIB

Analisando o gráfico 1, podemos verificar que o nível de produto apresenta uma tendência crescente ao longo do tempo. Podemos verificar que entre 1960 e 1980 o PIB cresceu a um ritmo muito lento, praticamente constante. Um potencial fator justificativo é a Guerra Colonial entre 1961 e 1974. Sendo a época 60 a principal afetada com a guerra apresentando valores bastante baixos. Os anos entre a entrada em vigor da Constituição e a entrada na CEE, entre 1976 e 1985, durante os quais o PIB cresceu 586,25%, passando de 336,0 para 2.305,8.

Os anos entre a entrada na CEE e a entrada em circulação do Euro, entre 1986 e 2001, durante os quais o PIB cresceu 365,45 % facto que não será alheio à entrada massiva de fundos comunitários destinados à modernização da economia portuguesa. Tudo parecia bem encaminhado para que os portugueses tivessem um poder de compra próximo dos nossos parceiros no futuro. Verificou-se praticamente a estagnação da economia portuguesa desde a entrada na moeda única, em 1999. Ao olhar para desenvolvimento do PIB nestes anos, foram dez anos de crescimento lento.

A crise financeira em Portugal de 2010–2014 iniciou-se como parte da crise financeira global de 2007-2008, durante este período, a desigualdade aumentou, houve corte de serviços básicos e o governo começou a usar recursos de cofres públicos para salvar empresas. A crise forçou Portugal a pedir ajuda à UE e ao FMI em 2011. Portugal teve uma recessão em 2009, o ano da Grande Recessão a nível global, voltou a crescer em 2010 mas, com crise da dívida na zona euro, viveu no vermelho mais três anos, entre 2011 e 2013.

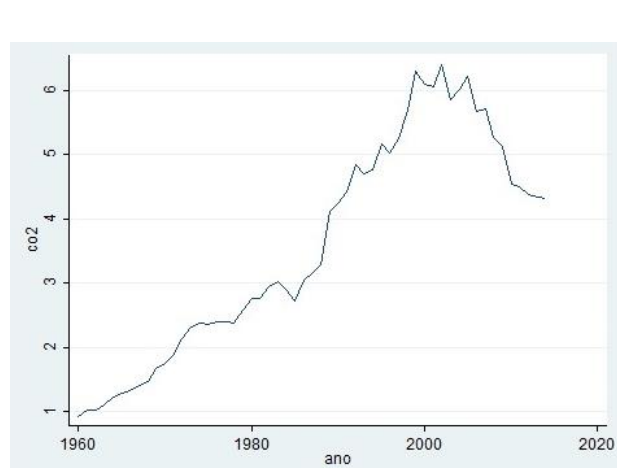


Gráfico 2: Variável CO₂

co2				
Percentiles		Smallest		
1%	.93	.93		
5%	1.03	1.02		
10%	1.29	1.03		
25%	2.32	1.11		
50%		3.14		
75%		5.13		
90%		6.02		
95%		6.22		
99%		6.41		
		Largest		
		6.1		
		6.22		
		6.31		
		6.41		
		Obs		55
		Sum of Wgt.		55
		Mean		3.578182
		Std. Dev.		1.711293
		Variance		2.928523
		Skewness		.071647
		Kurtosis		1.674722

Output 2: Estatística descritiva da variável CO₂

De acordo com o gráfico 2 o número de emissões de CO₂ *per capita* tem vindo a aumentar ao longo dos anos de forma não linear pois tem tido algumas quedas. Apesar de, a partir de 2005, as emissões terem diminuindo gradualmente.

O CO₂ resulta da queima direta de combustíveis fósseis (carbono, o petróleo e o gás) utilizados na produção de energia e transportes, principalmente. Este aumenta também devido ao abate de florestas (desflorestação) pois as árvores ajudam a regular o clima absorvendo o CO₂ presente na atmosfera.

Quando são abatidas, esse efeito benéfico desaparece e o carbono armazenado nas árvores é libertado para a atmosfera, reforçando o efeito de estufa. As enormes quantidades deste gás com efeito de estufa provenientes destas atividades juntam-se às naturalmente presentes na atmosfera, reforçando o efeito de estufa e o aquecimento global.

De acordo com os dados divulgado pelo InditexMundi, o menor número de emissões de CO₂ *per capita* encontra-se em 1960 e o maior em 2002 resultando de um aumento de 589.25 % sendo este o maior relativamente ao período 1960-2014.

Metodologia

Prosseguiremos agora para uma descrição da metodologia na realização do trabalho. As séries temporais são conjuntos de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo, não sendo possível assumir o pressuposto da amostragem aleatória. Nestas séries temporais um modelo pode depender de valores passados no tempo e o facto de haver uma sequência lógica nas observações conduz à necessidade de abordagens diferentes, mesmo considerando as tradicionais premissas dos mínimos quadrados.

A estacionaridade é um dos problemas que pode afetar os modelos nas séries temporais. O seu estudo deriva da obrigatoriedade de se ter alguma estabilidade na estimação de uma relação. Assim, é um aspeto essencial para uma correta estimação dos modelos e para a obtenção de conclusões corretas. O nosso modelo será do tipo:

$$\Delta PIB_t = \alpha + \delta t + \theta PIB_{t-1} + \theta_2 \Delta PIB_{t-1} + u_t$$

Para tirarmos conclusões acerca da estacionaridade iremos realizar um teste τ com $H_0: \theta=0$; $H_1: \theta<0$ e, caso o rácio τ seja superior Ao valor da tabela Dickey-Fuller rejeitemos a hipótese nula, ou seja, a série é estacionária.

Em seguida, e de modo a verificar se os erros são estacionários, prossegue-se com a análise da cointegração através do teste Engle e Granger. A cointegração em séries temporais é bastante importante para quem trabalha com séries económicas, pois possibilita estudar e analisar relações estruturais entre séries envolvidas. Mais precisamente, testes de cointegração permitem determinar se as séries temporais envolvidas possuem ou não uma relação a longo prazo, ficando assim com:

$$PIB_t = \beta_0 + \beta_1 CO_{2t} + u_t$$

Pelo método dos mínimos quadrados:

$$\Delta \hat{u}_t = \alpha + \theta \hat{u}_{t-1} + \theta_2 \Delta \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t$$

A hipótese usada para testar a cointegração é $H_0: \theta=0$ e $H_1: \theta<0$, caso o rácio τ seja superior ao valor da tabela EG, podemos concluir que não existe cointegração.

No caso de não existir cointegração prosseguiremos para a análise das primeiras diferenças (taxas de crescimento), e se necessário as segundas diferenças (aceleração) de modo a garantir que os resíduos são $I(0)$, isto é, evitar resultados espúrios e termos regressões válidas. Quando conseguirmos que ambas as variáveis em estudo sejam estacionárias, $I(0)$, testaremos a cointegração de modo a encontrar uma relação de longo prazo entre o PIB e o CO_2 .

Um dos tipos de modelos usualmente utilizado para fazer previsão é o modelo de vetores autorregressivos (VAR). Estes modelos compostos não por uma, mas sim por várias equações dinâmicas, têm tantas equações quantas variáveis existam no modelo. Cada equação terá então uma variável dependente diferente, no nosso caso PIB e CO_2 :

$$\Delta PIB_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta PIB_{t-1} + \alpha_2 \Delta CO_{2,t-1} + u_t$$

$$\Delta CO_{2,t} = \delta_0 + \delta_1 \Delta PIB_{t-1} + \delta_2 \Delta CO_{2,t-1} + u_t$$

Tendo isto em conta é possível analisar a causalidade à Granger. Uma variável X causa Z à Granger no sentido em que se as observações passadas de X ajudam a prever os valores futuros de Z para determinado horizonte de tempo. No contexto do modelo VAR, o conceito de causalidade de Granger pode ser facilmente caracterizado em termos dos coeficientes da forma reduzida. Em particular, sob a hipótese de que os valores correntes e passados das variáveis incluídas do modelo contenham toda a informação relevante para a previsão de valores futuros.

Resultados

Com o objetivo de testar a estacionaridade da série estimou-se um modelo para cada uma das quatro variáveis em estudo.

O primeiro modelo foi estimado com o PIB:

$$\Delta PIB_t = -129,224 + 16,76t - 0,036PIB_{t-1} + 0,63\Delta PIB_{t-1} + u_t$$

D.pib	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pib						
L1.	-.0355069	.0166169	-2.14	0.038	-.0688999	-.0021139
LD.	.6295668	.1037301	6.07	0.000	.4211133	.8380202
_trend	16.76003	7.123863	2.35	0.023	2.444094	31.07597
_cons	-129.2237	104.8499	-1.23	0.224	-339.9275	81.48006

Output 3: Teste da estacionaridade para a variável PIB *per capita*

Analisando o valor t da variável em nível do PIB *per capita*, não rejeitamos a hipótese nula com um nível de significância de 5%, visto que o valor da tabela Dickey-Fuller (passeio aleatório com deslocação e tendência) é $-3,41 < -2,14$. Concluimos assim que a série é I (1), ou seja, não é estacionária.

O modelo das emissões de CO₂ é:

$$\Delta CO_{2t} = 0,172 - 0,005t + 0,012CO_{2t-1} - 0,016\Delta CO_{2t-1} + u_t$$

D.co2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
co2						
L1.	.0121012	.0561847	0.22	0.830	-.1008062	.1250087
LD.	-.0156344	.1553673	-0.10	0.920	-.3278566	.2965879
_trend	-.0054279	.0063663	-0.85	0.398	-.0182214	.0073657
_cons	.1717057	.0847736	2.03	0.048	.0013467	.3420646

Output 4: Teste da estacionaridade para a variável CO₂

Observando o valor t da variável em nível das emissões de CO₂, o valor da tabela Dickey-Fuller a 5% faz com que não rejeitemos H₀, o que nos permite concluir novamente que a série é I (1).

De modo a garantir que não haverá resultados espúrios passaremos à análise da estacionaridade, onde se analisa as taxas de crescimento para o PIB:

$$\Delta PIB_t = 46,121 + 1,82t - 0,285PIB_{t-1} - 0,128\Delta PIB_{t-1} + u_t$$

Augmented Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 52

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-2.435	-4.146	-3.498

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.3613

D2.pib	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
D.pib						
L1.	-.2852943	.1171786	-2.43	0.019	-.5208977	-.0496909
LD.	-.1277938	.1439432	-0.89	0.379	-.4172109	.1616234
_trend	1.819674	2.558702	0.71	0.480	-3.324941	6.96429
_cons	46.1213	72.79172	0.63	0.529	-100.2363	192.4789

Output 5: Teste da estacionaridade (taxas de crescimento) para o PIB

Analisando o valor t da variável desfasada do PIB *per capita*, continuamos a não rejeitar a hipótese nula com um nível de significância de 5%, visto que o valor da tabela Dickey-Fuller (passeio aleatório com deslocação e tendência) é $-3,41 < -2,435$. Concluimos assim que a série é I(1), ou seja, continua não estacionária.

O modelo das emissões de CO₂ é:

$$\Delta CO_{2t} = 0,169 - 0,004t - 0,899CO_{2t-1} - 0,107\Delta CO_{2t-1} + u_t$$

Augmented Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 52

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.445	-4.146	-3.498

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0019

D2.co2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
D.co2						
L1.	-.8988935	.2022304	-4.44	0.000	-1.305505	-.492282
LD.	-.1074964	.142752	-0.75	0.455	-.3945186	.1795258
_trend	-.0041005	.0025162	-1.63	0.110	-.0091597	.0009587
_cons	.1695018	.0826765	2.05	0.046	.0032695	.335734

Output 6: Teste da estacionaridade (taxas de crescimento) para o CO₂

Observando o valor t da variável desfasada das emissões de CO₂, o valor da tabela Dickey-Fuller a 5% faz com que rejeitemos H₀, o que nos permite concluir que a série é estacionária, I(0). Ou seja, já não há probabilidade de os resíduos serem espúrios.

No entanto para a variável PIB ainda se verifica a não estacionaridade, logo passámos as segundas diferenças, onde se avalia a aceleração das variáveis.

O modelo do PIB é o seguinte:

$$\Delta PIB_t = 74,634 - 2,702t - 1,983PIB_{t-1} + 0,552\Delta PIB_{t-1} + u_t$$

Augmented Dickey-Fuller test for unit root			Number of obs	=	51
		Interpolated Dickey-Fuller			
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-8.337	-4.148	-3.499	-3.179	
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000					
D3.pib	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
D2.pib					
L1.	-1.98281	.2378408	-8.34	0.000	-2.461284 -1.504336
LD.	.5518368	.1573269	3.51	0.001	.235336 .8683376
_trend	-2.702409	2.328431	-1.16	0.252	-7.386607 1.981789
_cons	74.63426	70.89386	1.05	0.298	-67.98578 217.2543

Output 7: Teste da estacionaridade (aceleração) PIB *per capita*

Analisando a aceleração o valor t da variável PIB *per capita*, o valor da tabela Dickey-Fuller a 5% faz com que rejeitemos H₀, o que nos permite concluir que a série é estacionária, I(0) pois -3,41 > -8,337. Ou seja, já não há probabilidade de os resíduos serem espúrios para a variável PIB *per capita*.

Neste ponto do trabalho, e após verificar a estacionaridade estamos aptas para testar a cointegração ao nível das taxas de crescimento. O modelo estimado é o seguinte:

$$\Delta PIB = -152,6 + 126,73CO_2 + u$$



Source	SS	df	MS	Number of obs = 54		
Model	2425014.02	1	2425014.02	F(1, 52) = 30.66		
Residual	4112836.35	52	79093.0067	Prob > F = 0.0000		
				R-squared = 0.3709		
				Adj R-squared = 0.3588		
				Root MSE = 281.23		
Total	6537850.37	53	123355.667			

D.pib	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
co2	126.7279	22.88675	5.54	0.000	80.80228	172.6535
_cons	-152.5981	91.41243	-1.67	0.101	-336.0305	30.83438

Output 8: Relação de Cointegração entre o PIB e o CO₂

De a verificar se os resíduos são estacionários fizemos a seguinte regressão:

$$\Delta \hat{u}_t = 17,432 + 0,044\hat{u}_{t-1} - 0,032\Delta \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t$$

Source	SS	df	MS	Number of obs = 53		
Model	2704.14579	2	1352.0729	F(2, 50) = 1.28		
Residual	52612.4769	50	1052.24954	Prob > F = 0.2856		
				R-squared = 0.0489		
				Adj R-squared = 0.0108		
				Root MSE = 32.438		
Total	55316.6227	52	1063.78121			

D.uhat	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
uhat						
LD.	.0440571	.1383196	0.32	0.751	-.2337659	.3218802
L1.	-.0323404	.0209114	-1.55	0.128	-.0743423	.0096615
_cons	17.43179	7.928698	2.20	0.033	1.506527	33.35704

Output 9: Resíduos da Cointegração entre o PIB e o CO₂

Ao analisar o valor t em questão, não rejeitamos a hipótese nula com um nível de significância de 5%, visto que o valor da tabela Engle e Granger (sem tendência e m=2) é -3,34 < 0,32, onde concluímos que não existe cointegração entre as variáveis em estudo. Ou seja, não podemos considerar que existe uma relação de longo prazo entre o PIB e o CO₂.

Tendo isto em conta, podemos analisar a causalidade à Granger. A variável dependente causa à Granger às restantes variáveis do modelo, no sentido em que se as observações passadas ajudam a prever os valores futuros. Ou seja, sob a hipótese de que os valores correntes e passados das variáveis incluídas no modelo contenham informação relevante para a previsão de valores futuros. De modo a encontrar uma causalidade entre as variáveis iremos testar a causalidade à Granger na existência de cointegração usando as diferenças:

O modelo à Granger do PIB é:

$$\Delta_2 PIB_t = 5,375 - 0,274 \Delta_2 PIB_{t-1} + 39,023 \Delta CO_{2t-1} u_t$$

Source	SS	df	MS	Number of obs = 52		
Model	273248.064	2	136624.032	F(2, 49) = 1.98		
Residual	3380781.79	49	68995.5468	Prob > F = 0.1489		
				R-squared = 0.0748		
				Adj R-squared = 0.0370		
Total	3654029.86	51	71647.6443	Root MSE = 262.67		

D2.pib	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pib LD2.	-.2743159	.137998	-1.99	0.052	-.5516332	.0030013
co2 LD.	39.02304	142.2285	0.27	0.785	-246.7958	324.8419
_cons	5.375438	37.53159	0.14	0.887	-70.04712	80.79799

Output 10: Teste da causalidade à Granger entre PIB *per capita* e CO₂

Em relação à causalidade à Granger entre o PIB e o CO₂ em nível, e tendo em conta que $0,398 > 0,10$ podemos concluir que a variável CO₂ não causa à Granger à variável PIB. Deste modo, valores passados não ajudam a prever valores futuros.

Passamos então para a causalidade à Granger entre o CO₂ e o PIB, como demonstra a seguinte regressão por nós elaborada:

$$\Delta CO_{2t} = 0,0598 + 0,0002 \Delta CO_{2t-1} + 0,038 \Delta^2 PIB_{t-1} + u_t$$

Source	SS	df	MS	Number of obs = 52	
Model	.187000638	2	.093500319	F(2, 49) =	1.41
Residual	3.25457555	49	.066419909	Prob > F =	0.2544
Total	3.44157619	51	.067481886	R-squared =	0.0543
				Adj R-squared =	0.0157
				Root MSE =	.25772

D.co2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
co2						
LD.	.0380957	.1395485	0.27	0.786	-.2423376	.3185289
pib						
LD2.	.0002199	.0001354	1.62	0.111	-.0000522	.000492
_cons	.0597764	.0368244	1.62	0.111	-.014225	.1337777

Output 11: Teste da causalidade à Granger entre o CO₂ e o PIB *per capita*

Também em relação à causalidade à Granger entre o CO₂ e o PIB as conclusões alteram-se aproximadamente a 10% de significância, na medida em que alguns dos p-values são menores que 0,10. Podemos concluir que a aceleração do PIB causa à Granger à variável CO₂. Deste modo, valores passados ajudam a prever valores futuros. É de realçar que isto apenas se verifica no contexto do horizonte temporal estudado em Portugal. Em suma, a aceleração do PIB leva ao crescimento da economia e posteriormente a um aumento das emissões de CO₂.

Considerações Finais		
	Estacionaridade	Cointegração
Em nível	Não existe	-
Taxa de Crescimento	Só existe para o CO ₂	Não existe
Aceleração	Existe para o PIB	-

Causalidade à Granger	
PIB causa CO ₂	Existe
CO ₂ causa PIB	Não existe

Conclusão

O principal objetivo deste paper foi estudar o impacto das emissões de CO₂ no crescimento económico em Portugal no período 1960-2014 através de métodos econométricos autorregressivos para as variáveis PIB *per capita* e emissões de CO₂ *per capita*, de modo a averiguar a existência de uma relação causal entre estas.

Os resultados obtidos através do teste Dickey-Fuller Augmented mostram que a quando as variáveis estão em nível a série é não estacionária. Após a análise da não estacionariedade, recorremos às primeiras diferenças das variáveis onde se verificou apenas a estacionariedade para a variável CO₂, e apenas na aplicação das segundas diferenças é que se verificou-se a estacionariedade da variável PIB *per capita* garantindo que os resíduos não são espúrios. De seguida passámos para a análise da cointegração com um desfasamento onde se verificou que as variáveis não são cointegradas, na medida em que não existe uma relação de longo prazo entre elas.

No final deste trabalho respondemos à questão mais importante que nos propusemos responder desde o início em relação à existência de relações de causalidade entre as variáveis. Concluimos que através dos resultados expressos, estes mostram que, com um nível de significância aproximadamente de 10%, a variável CO₂ não causa à Granger a variável PIB. No entanto, a aceleração do PIB causa à Granger a variável CO₂, quer isto dizer que os valores passados de PIB ajudam a prever os valores futuros do CO₂, tendo em conta o contexto em que o nosso horizonte temporal está inserido em Portugal.

Tal como visto na revisão de literatura, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de estudar a relação entre o crescimento económico e as emissões de CO₂. As conclusões obtidas em cada estudo dependem das características económicas e do desenvolvimento dos países sobre os quais incidem esses mesmos estudos.

Na análise da variável CO₂ verificámos que esta tem vindo a aumentar ao longo do período analisado devido a várias atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis, desflorestação, entre outras. A variável PIB através do gráfico analisado regista aumentos significativos devido à Guerra Colonial, a entrada na CEE, a entrada do Euro e a crise financeira de Portugal.

Bibliografia

Cunha, C. A., & Scalo, P. R. (2013). *Crescimento económico brasileiro e emissão de CO2*. <https://doi.org/10.22456/2176-5456.12439>

Campo Robledo, J., & Olivares, W. (1). Relación entre las emisiones de co2, el consumo de energía y el pib: el caso de los civets. *Semestre Económico*, 16(33), 45-65. <https://doi.org/10.22395/seec.v16n33a2>

Vieira de Almeida, P. R., Figueiredo, R. S., Duarte, Y. L., & Tognon, A. (2016). Modelo de análise das relações de longo prazo do crescimento do PIB per capita e das emissões de CO2 provenientes de combustíveis fósseis no Brasil: uma abordagem utilizando cointegração e Causalidade de Granger. *Gestão, Inovação e Negócios*, 2(2), 1-12. <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/administracao/issue/view/153>

Cavalheiro, A. B. (2018). *O Impacto do Sector Electroprodutor Renovável no Crescimento Económico em Portugal* [Master's thesis]. <http://hdl.handle.net/10362/61569>

Brufao, C. A. (2013). *A relação entre o crescimento económico e as emissões de CO2: uma análise da curva de Kuznets ambiental para países desenvolvidos e em desenvolvimento* [Doctoral dissertation]. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/6623>

FFMS. (2020). PIB per capita (base=2016). Lisboa: PORDATA. Disponível em Março,2020. [https://www.pordata.pt/Portugal/PIB+per+capita+\(base+2016\)-2297](https://www.pordata.pt/Portugal/PIB+per+capita+(base+2016)-2297)

IndexMundi. (n.d.). *Portugal - CO2 emissions*. IndexMundi - Country Facts. <https://www.indexmundi.com/facts/portugal/co2-emissions#EN.ATM.CO2E.PC>