Crescimento Econômico e Emissões de CO_2: Cointegração e Consequências para a Política Econômica

Alan Marques Miranda Leal (*)
Karina Sayuri Sataka Bugarin (**)

Resumo

O presente texto analisa se as séries históricas de crescimento do PIB e de impactos ambientais (emissões de CO_2) apresentam cointegração. Apesar da crescente presença do termo "crescimento verde" nas discussões de política internacional e brasileira, uma análise cuidadosa sobre os potenciais impactos econômicos de deslocar a base produtiva mais assertivamente – necessária para implementar uma estratégia de crescimento verde – não foi realizada. É razoável esperar que, dadas as diferentes matrizes econômicas, os instrumentos de política econômica necessários para promover crescimento verde sejam heterogêneos. Este texto avalia a cointegração do crescimento do PIB, das emissões de CO_2 e do preço de *commodities*. Os resultados indicam que existe relação entre atividade econômica e impacto ambiental e chamam atenção para a necessidade de considerar diferentes complexidades econômicas na transição para economias verdes.

1 Introdução

A discussão sobre desenvolvimento sustentável recentemente tem se consolidado em torno de uma nova agenda de pesquisa: crescimento verde (AYRES; SIMONIS, 1993; WEIZSÄCKER *et al.* 1998; DASGUPTA *et al.*, 2002; HALLEGATTE *et al.*, 2012; SMULDERS *et al.*, 2014; HICKLE; KALLIS, 2019). Embora a conexão entre crescimento verde e política econômica (BOWEN; HEPBURN, 2014; SMULDERS *et al.*, 2014;) seja mais nítida do que aquela encontrada entre desenvolvimento sustentável e crescimento econômico, ainda não está claro sob quais limitações devemos considerar na elaboração e implementação de políticas de crescimento verde.

Por um lado, a sustentabilidade ambiental pode limitar o crescimento econômico ao adotar ações para mitigar ou conter o impacto ambiental, o que poderia reduzir a produtividade e a competitividade nos mercados globais (DAVIDSON, 2000). Por outro, avanços na inovação e disseminação tecnológica para uma produção com menor impacto ambiental podem impulsionar a produtividade e promover o uso mais eficiente dos recursos naturais (KEMP, 1994; SANDBERG *et al.*, 2019; BILGILI *et al.*, 2020).

Este texto busca explorar uma correlação entre crescimento econômico e impacto ambiental, avaliando a cointegração de séries históricas nacionais: taxa de crescimento anual do PIB e emissões anuais *per capita* de CO_2 e índices de preços de *commodities* individualmente para vários países. Nossos resultados iniciais confirmam que há evidências suficientes para indicar que, historicamente, o crescimento econômico impacta o meio ambiente. Além disso, as diferenças nas matrizes econômicas devem ser consideradas ao traçar políticas econômicas de crescimento verde em todo o mundo.

O texto se encontra dividido da seguinte forma, além desta Introdução: 2. Revisão da Literatura, que apresenta um breve enquadramento teórico subjacente ao exercício analítico; 3. Dados e Metodologia, que apresentam os dados, período considerado na análise e teste de cointegração adotados; 4. Resultados e Discussão, que apresentam nossos principais resultados e indicam os possíveis próximos passos a serem adotados nesta linha de investigação.

2 Revisão da Literatura

2.1 *Desenvolvimento Sustentável e Crescimento Verde*

Recentemente, a discussão sobre crescimento verde ganhou força (HICKEL; KALLIS, 2019). Embora a discussão sobre sustentabilidade tenha feito parte de políticas internacionais e nacionais, foi após a Conferência Rio+20 sobre Desenvolvimento Sustentável em 2012 que as ideias de economia verde e crescimento econômico sustentado se entrelaçaram (CONSTANZA *et al.*, 2013).

O conceito de sustentabilidade remonta ao século XIX e refere-se essencialmente ao uso de recursos naturais, melhorando a condição humana (LUMLEY; ARMSTRONG, 2004). O termo desenvolvimento sustentável tornou-se popular após a publicação do Relatório Brundtland pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) em 1987, sendo descrito como "desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades". Embora esse conceito abarque indiretamente os conceitos de recursos escassos e maximização intertemporal, ele não foca diretamente no crescimento econômico. Assim, embora tangente à discussão sobre matriz econômica e fontes de produção, a preocupação principal não era o crescimento econômico, mas a racionalização do uso de recursos escassos (PEARCE, 1988).

À medida que a discussão foi evoluindo, a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável levou a uma "série de protocolos e políticas governamentais internacionais, nacionais, estaduais e locais" (LUMLEY; ARMSTRONG, 2004). No entanto, embora o conceito fosse amplamente aceito – sendo quase conceitualmente consensual, a implementação de políticas públicas era heterogênea (ELLIOTT, 2012). Como resultado, vários atores, especialmente a Organização para o Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o Banco Mundial, estão atualmente desenvolvendo uma agenda operacional para alcançar, de forma mensurável, o desenvolvimento sustentável e o crescimento verde.

Embora as três instituições mencionadas difiram em sua definição de crescimento verde, todas elas se baseiam fortemente na crença de que "a mudança e a substituição tecnológica melhorarão a eficiência ecológica da economia e os governos podem acelerar esse processo com os regulamentos e incentivos corretos" (HICKEL; KALLIS, 2019). Uma implicação prática é que as instituições acreditam que o crescimento deve ser dissociado do impacto ambiental. O PNUMA afirma explicitamente que

> Um conceito-chave para enquadrar os desafios que enfrentamos ao fazer a transição para uma economia mais eficiente em termos de recursos naturais é a dissociação. À medida que o crescimento econômico global esbarra nas fronteiras planetárias, torna-se mais urgente dissociar a criação de valor econômico do uso de recursos naturais e dos impactos ambientais (PNUMA, 2011, p. 5).

2 Desenvolvimento Sustentável, Crescimento Verde e Emissões

Na tentativa de elaborar ações concretas para promover o desenvolvimento sustentável por meio do crescimento verde, deve-se buscar compreender as estruturas produtivas. Alguns autores argumentaram que, como a estrutura produtiva é intensa no uso de recursos naturais e depende fortemente da expansão de máquinas, não é

possível dissociar o crescimento econômico e as emissões (JOSHUA *et al.*, 2020; ADEDOYIN; ZAKARI, 2020). Assim, seria impossível, em escala global, alcançar o crescimento sustentável por meio de estratégias de crescimento verde e, ao mesmo tempo, promover taxas sustentadas de crescimento do PIB (HAAS, 2015). A principal justificativa seria que a eficiência de recursos não pode melhorar indefinidamente (WARD *et al.*, 2016; HERRING *ET AL.*, 2009; HICKEL; KALLIS, 2019; GILJUM *et al.*, 2014).

No entanto, um argumento alternativo pode ser apresentado: o progresso tecnológico pode ser suficientemente grande ao ponto de neutralizar os impactos ambientais do crescimento econômico por meio de uma expansão de produtividade. Assim, a eficiência do uso de recursos pode ser melhorada de forma consistente ao longo do tempo (HAAS *et al.*, 2015; KEMP; SOETE, 1992; CONSTANZA; DALY, 1992). Nesse quadro, o ponto-chave para garantir o desenvolvimento sustentável, e que deve ser incorporado às estratégias de crescimento verde, é uma intervenção governamental para a promoção de inovação voltada à temática por meio de políticas orientadas por missão[1] (MAZZUCATO *et al.*, 2020; SACHS *et al.*, 2019) .

Portanto, para avaliar corretamente a possibilidade de estratégias de crescimento verde e subsidiar intelectualmente a implementação de intervenções governamentais eficazes (desde que o crescimento verde seja alcançável), devemos primeiro analisar se o crescimento e o impacto ambiental estão associados ou não.

3 Dados e Metodologia

3.1 Dados

Utilizamos dados do *Our World in Data*, conforme segue. Os dados de emissões de CO_2 *per capita* vêm do *Global Carbon Project*, compilados pelo *Our World in Data*, enquanto os dados do PIB foram coletados do banco de dados Madsen Plaza, também compilados pelo *Our World in Data*. Usamos dados do Índice de Preços de Commodities do Banco Mundial, para os índices reais de preços de *commodities*. Utilizamos dados de 203 países ao longo de 40 anos (de 1960 a 2018). Consideramos este período para todos os testes implementados.

3.2 Metodologia

A cointegração é um fenômeno exibido por séries temporais que compartilham semelhanças de movimentos no longo prazo; porém, no curto prazo, podem apresentar comportamento errático sem reverter à média, ou seja, comportamento de séries temporais não estacionárias. De fato, Engle e Granger (1987), ao definirem o conceito de cointegração, exigem que as séries possivelmente cointegradas sejam não estacionárias e possivelmente haja alguma combinação linear entre elas que seja estacionária. Intuitivamente, se n séries temporais de ordem I(1), então existe alguma combinação linear entre elas ou algumas delas, que é I(0). Isso indicaria que, embora os choques estocásticos tendam a se acumular efeitos devido à característica não estacionária de uma série temporal, no longo prazo, eles compartilhariam algum movimento.

Esta é uma visão interessante, dado que a direção política deve se concentrar em efeitos de longo prazo, em vez de associações de curto prazo. A fim de esclarecer a diretriz de política de crescimento verde, atualmente em foco, exploraremos como o PIB *per capita*, as emissões e os preços das *commodities* se cointegram.

No domínio da frequência, esse quadro de cointegração é semelhante ao do domínio do tempo, porém, ao invés de exigir que as séries temporais sejam não estacionárias, exigimos que ambas tenham uma ordem de d e pelo menos uma combinação $0.5 \leq d < 1$ linear entre elas é I(b), $0 < b \leq 0.5 < d$. Assim, as possibilidades de cointegração são ampliadas no sentido de que a dicotomia entre séries puramente não estacionárias e estacionárias e

a possível combinação linear entre elas é superada.

Um teste de cointegração muito utilizado entre duas séries temporais consiste em testar a estacionariedade dos resíduos da projeção linear de uma dessas duas séries contra a outra. Dado que as séries temporais agora são estacionárias, garantimos a existência de cointegração entre elas. Para um número de séries temporais maior que 2, o teste de Johansen (traço ou maior autovalor) pode verificar se o possível vetor de cointegração entre elas pode ser múltiplo, com a existência de apenas um vetor suficiente para garantir a existência de cointegração para as séries temporais a partir do qual este vetor foi criado.

Os testes citados são implementados no domínio do tempo e utilizam o comportamento de estatísticas construídas a partir de séries temporais cointegradas. Existe uma bijeção entre uma série temporal e seu comportamento no domínio da frequência; geralmente é possível e mais fácil identificar ciclos ocultos no domínio da frequência do que no domínio do tempo. O processo de cointegração é um processo de similaridade entre séries temporais quanto a ciclos nas frequências mais baixas (períodos mais longos).

Neste artigo, é de interesse utilizar um teste de cointegração no domínio da frequência; ele nos permite testar se duas séries temporais são fracionadamente cointegradas ou não. Dessa forma, expandimos a possibilidade de cointegração entre duas séries temporais que não sejam puramente não estacionárias para serem de ordem fracionária de cointegração.

Existem diferentes testes de cointegração fracionária com foco no domínio da frequência. Seguindo Leschinski *et al.* (2021), usamos o teste semiparamétrico desenvolvido por Souza *et al.* (2018), que testa a presença de cointegração fracionária entre duas séries temporais no domínio da frequência usando o determinante da matriz ou o espectro amostral contra frequências fundamentais de Fourier. Na presença de cointegração, o determinante dessa matriz tende a 0 quando as frequências se aproximam de 0. Esse teste é, segundo Leschinski *et al.*(2021), robusto à autocorrelação em séries temporais e outros fenômenos em séries temporais reais. Aplicamos este teste de cointegração em um par de séries temporais, crescimento do PIB e emissões *per capita* de CO_2, e em uma terceira série temporal, crescimento do PIB, emissões *per capita* de CO_2 e índices de preços de *commodities*, para cada um dos países em nossa amostra.

Com relação aos índices de preços de *commodities*, utilizamos 15 índices anuais (nominais), com ano-base 2010 (estabelecido em 100), que são: energia, não energia, agricultura, bebidas, alimentos, óleos e farelos, grãos, outros alimentos, matérias-primas, madeira, outros matérias-primas, fertilizantes, metais e minerais, metais básicos (excluindo minério de ferro) e materiais preciosos.

4 Resultados e Discussão

A Figura 1 a seguir mostra o crescimento do PIB em 2018, enquanto a Figura 2 mostra as emissões de CO_2 *per capita*. Podemos ver claramente a heterogeneidade entre os países da análise. Além disso, não parece haver um padrão comum por país entre as duas séries. Ou seja, não parece haver clara associação entre maior atividade econômica e maior nível de emissões. Isso indica que no curto prazo parece haver pouca ou nenhuma similaridade em seus movimentos.

Para entender melhor as tendências de longo prazo entre as duas séries, realizamos um teste de cointegração no domínio da frequência para a taxa de crescimento anual do PIB e a série de emissões de CO_2 (Figura 3 a seguir). Os resultados indicam que em média, tomando país a país, ambas as séries são cointegradas. Isso indica que a hipótese teórica supracitada que relaciona impacto ambiental e crescimento econômico está correta: à medida que crescemos, promovemos maior im-

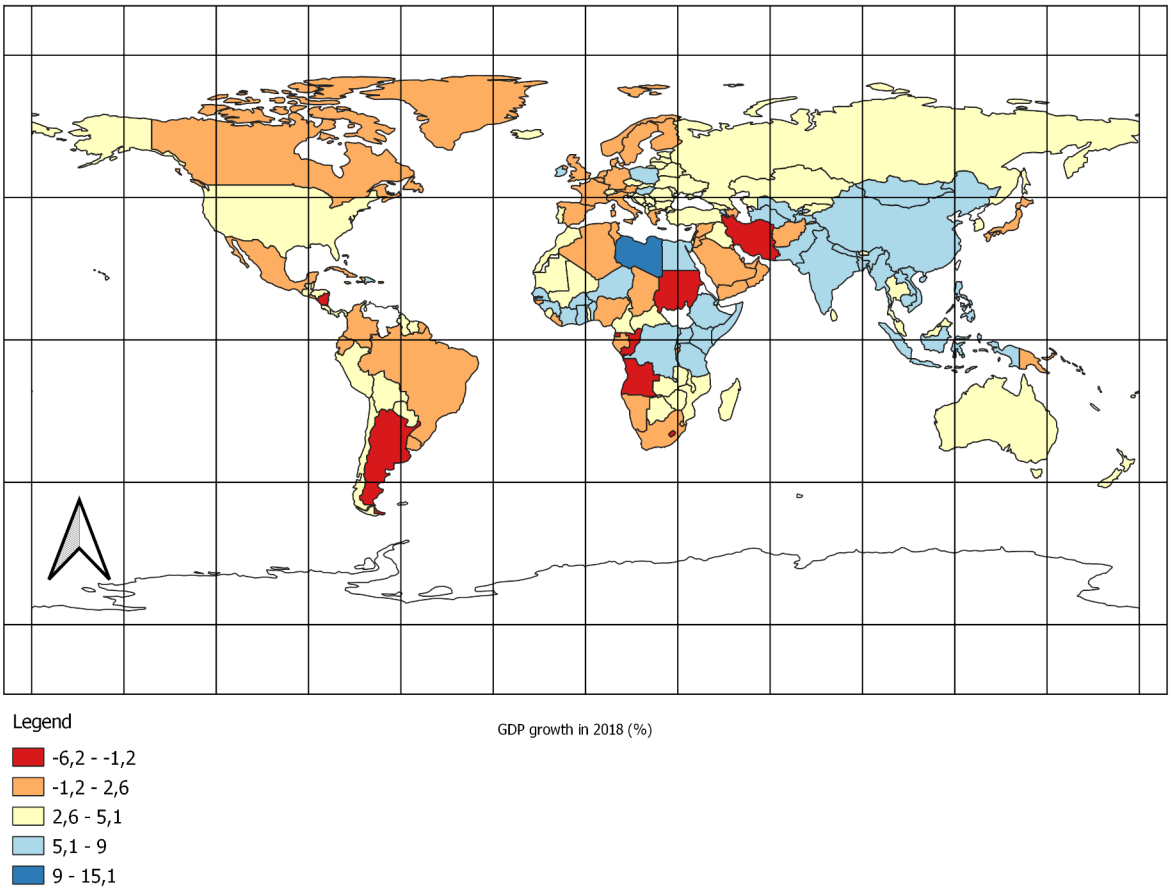
pacto negativo no meio ambiente (utilização ineficiente dos recursos naturais).

Passamos agora a avaliar as particularidades da matriz econômica e seus efeitos sobre o impacto ambiental, realizando testes de cointegração em 15 índices anuais de preços reais de *commodities*. Para cada país, somamos o número de índices de preços reais de *commodities* que cointegram com as emissões de CO_2 *per capita* (Figura 4). Um resultado particularmente interessante é que para a maioria dos países desenvolvidos (93%) o índice de preços de *commodities* não é cointegrado com as emissões de CO_2. Além disso, países com sistemas econômicos menos complexos (a produção é concentrada em alguns bens e serviços) provavelmente precisarão diversificar sua base econômica para compensar uma perda de vantagem competitiva na promoção de estratégias de crescimento verde. O resultado indica que a matriz econômica é relevante na avaliação do impacto ambiental e na adoção de políticas de crescimento verde.

Mesmo no caso em que o crescimento verde seja almejado por todos os países, os instrumentos de política pública deverão ser heterogêneos e diversificados. Considere uma economia altamente dependente de um número restrito de *commodities* da exportação. Provavelmente, para alcançar uma economia verde dependerá de tecnologias específicas e substituições na composição produtiva para ganhos significativos de produtividade em comparação com um país de matriz econômica complexa. Poderá também depender de maior integração em outras cadeias globais de valor para a transição completa. Esta é uma camada adicional de complexidade na avaliação de implementação de políticas econômicas para economias verdes.

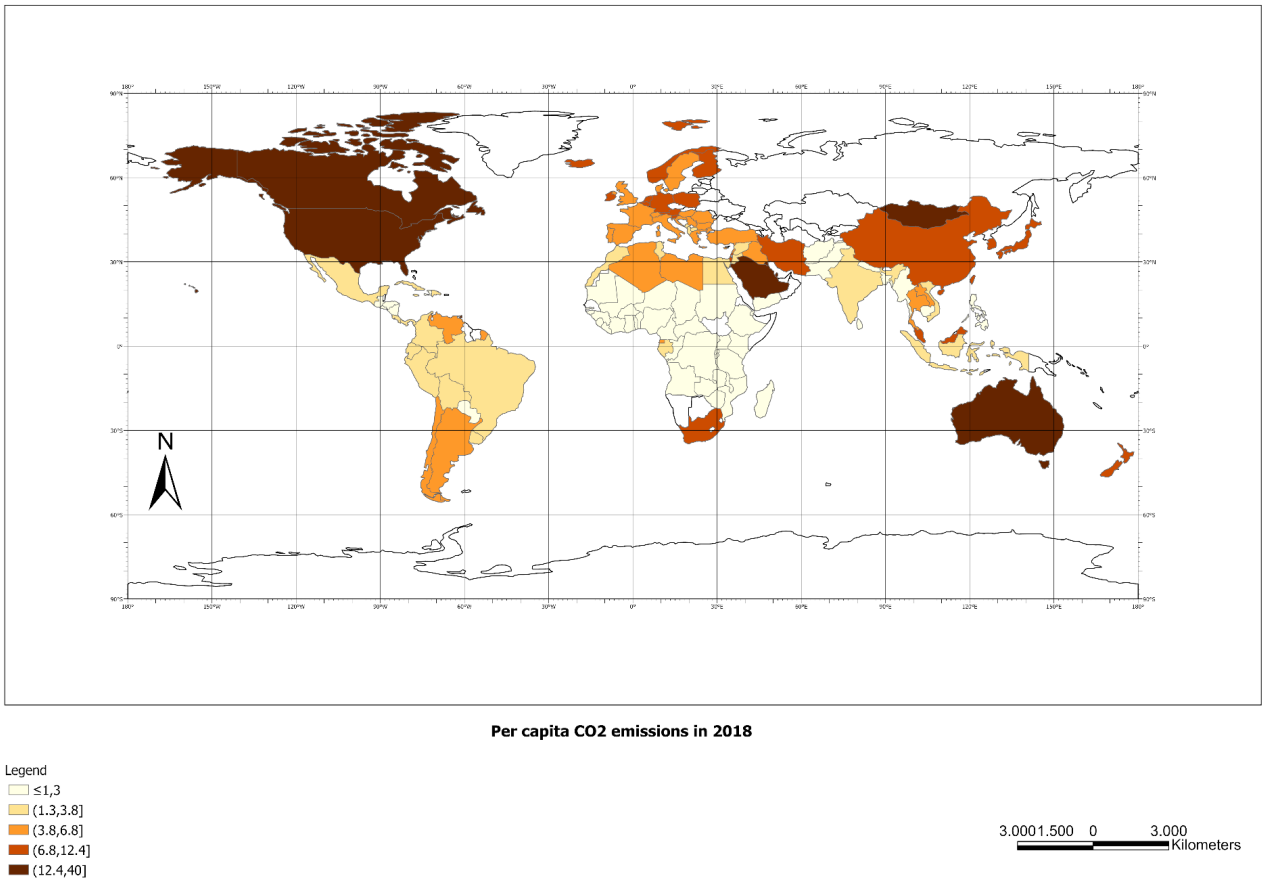
Esta análise inicial deve ser complementada com uma avaliação de políticas adotadas para promover o desenvolvimento sustentável nos países que apresentaram cointegração entre o crescimento anual do PIB e as emissões *per capita* de CO_2. Além disso, sugerimos testar cointegração de crescimento econômico com mais variáveis de impacto ambiental. Adicionalmente, como a emissão de CO_2 tem impacto de longo prazo no bem-estar e nas mudanças climáticas, é natural assumir uma relação estrutural de longo prazo entre o crescimento anual do PIB e as emissões *per capita* de CO_2. Testar outras séries que capturem impacto ambiental contribuirá por verificar robustez dos resultados encontrados até o momento.

Figura 1 - Crescimento do PIB em 2018



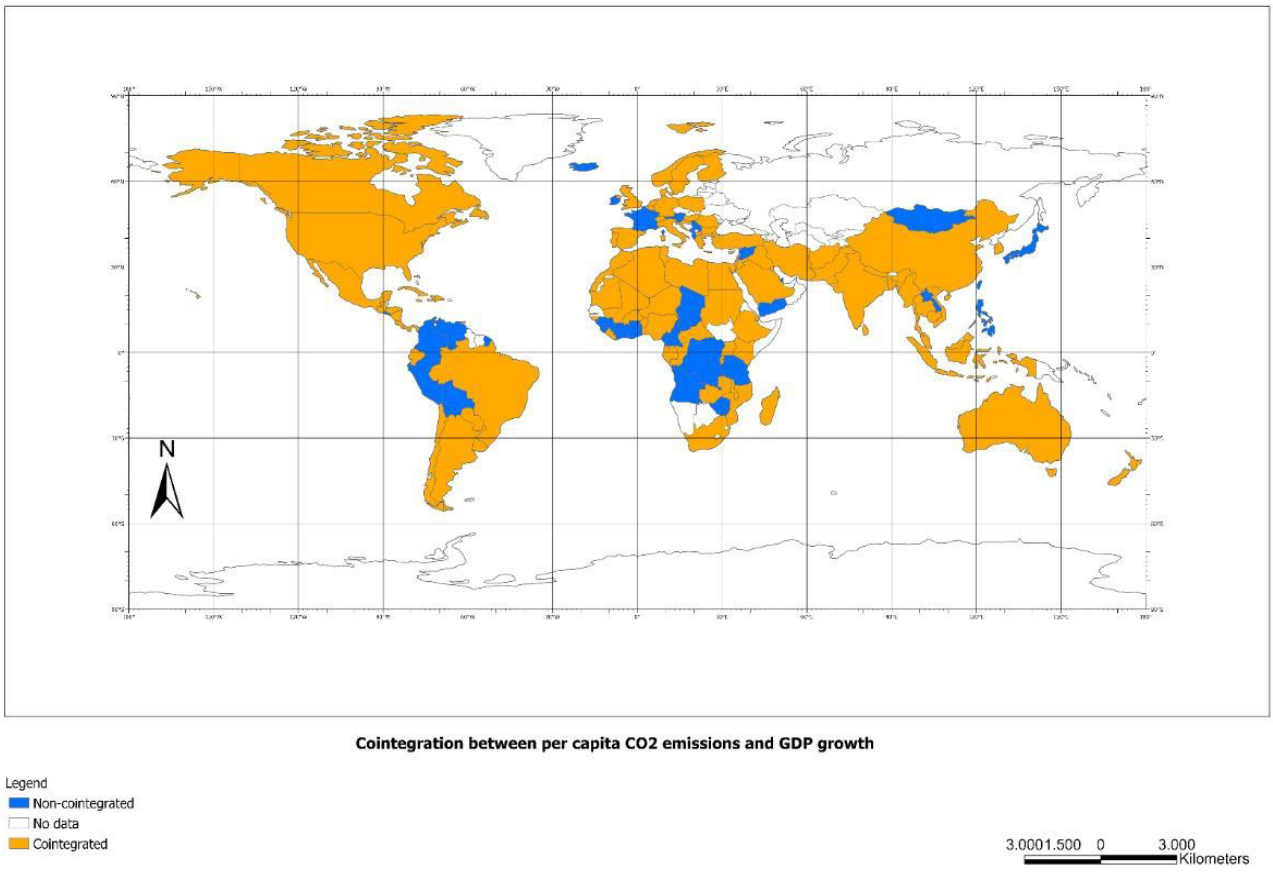
Fonte: elaboração dos autores usando dados disponíveis em Our World in Data.

Figura 2 - Emissões Per Capita de CO_2 em 2018



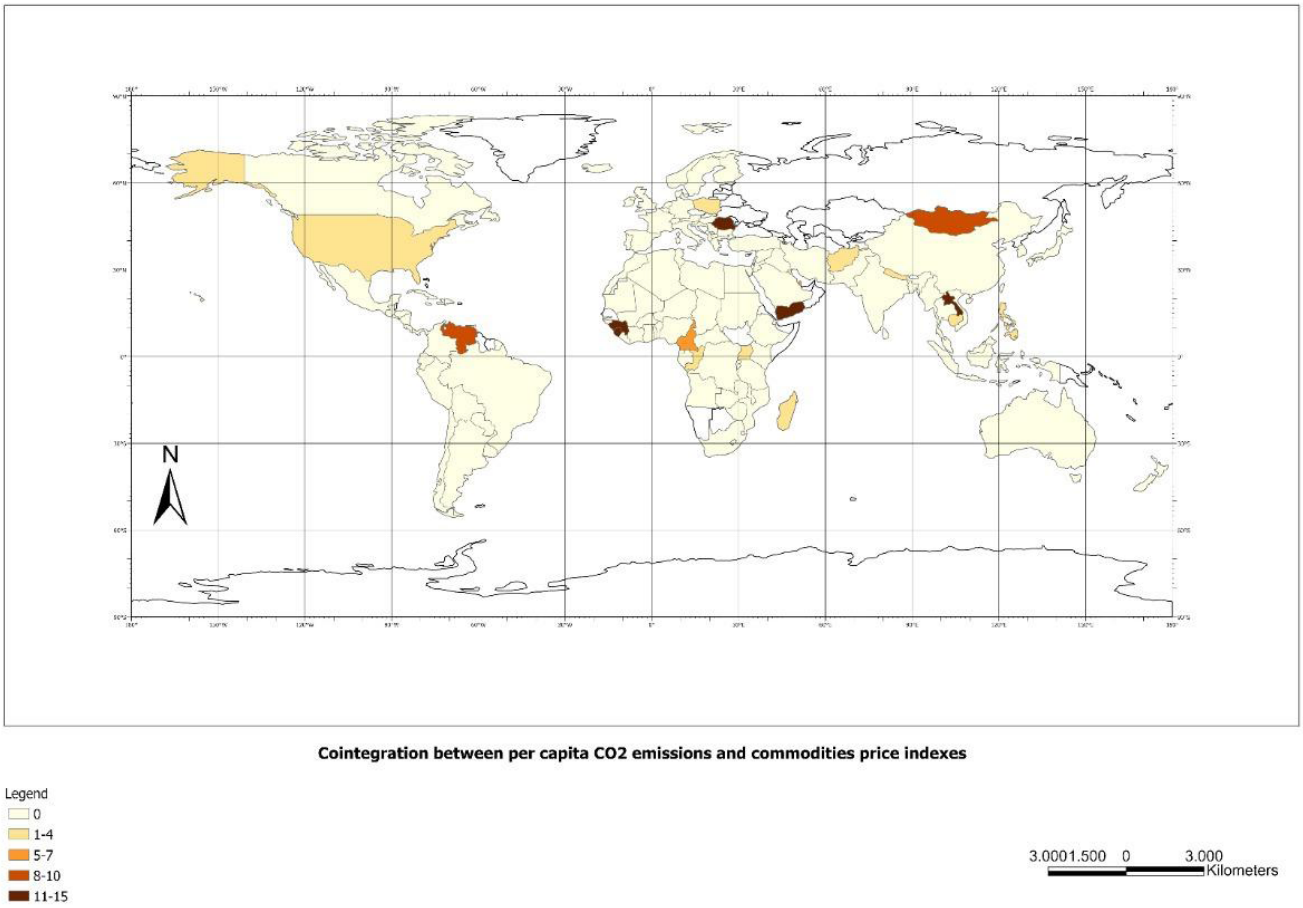
Fonte: elaboração dos autores, usando dados disponíveis em Our World in Data.

Figura 3 - Cointegração entre Crescimento do PIB e Emissões Per Capita de CO_2 (1960 a 2018)



Fonte: elaboração dos autores, usando dados disponíveis em Our World in Data.

Figura 4 - Emissões Per Capita de CO_2 e Índices de Preços de Commodities (1960 a 2018)



Fonte: elaboração dos autores, usando dados disponíveis em Our World in Data.

Referências

ADEDOYIN, Festus Fatai; ZAKARI, Abdulrasheed. Energy consumption, economic expansion, and CO2 emission in the UK: the role of economic policy uncertainty. **Science of the Total Environment**, v. 738, 2020.

AYRES, R.; SIMONIS, U. E. Eco-restructuring: the transition to an ecologically sustainable economy. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 1, n. 1, p. 21-46, 1993.

BILGILI, Faik *et al*. Does globalization matter for environmental sustainability? Empirical investigation for Turkey by Markov regime switching models. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 1, p. 1087-1100, 2020.

BOWEN, Alex; HEPBURN, Cameron. Green growth: an assessment. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 407-422, 2014.

COSTANZA, Robert; DALY, Herman E. Natural capital and sustainable development. **Conservation Biology**, v. 6, n. 1, p. 37-46, 1992.

COSTANZA, Robert *et al*. **Building a sustainable and desirable economy-in-society-in-nature**: report to the United Nations for the 2012 Rio+ 20 Conference. ANU Press, 2013.

DASGUPTA, S. et al. Confronting the environmental Kuznets curve. **Journal of Economic Perspectives**, v. 16, n. 1, p. 147-168, 2002.

DAVIDSON, Carlos. Economic growth and the environment: alternatives to the limits paradigm. **BioScience**, v. 50, n. 5, p. 433-440, 2000.

ELLIOTT, Jennifer. **An introduction to sustainable development**. Routledge, 2012.

ENGLE, Robert F.; GRANGER, Clive WJ. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 251-276, 1987.

GILJUM, Stefan *et al*. Global patterns of material flows and their socio-economic and environmental implications: a MFA study on all countries world-wide from 1980 to 2009. **Resources**, v. 3, n. 1, p. 319-339, 2014.

HAAS, Willi *et al*. How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

HALLEGATTE, Stéphane *et al*. **From growth to green growth-a framework**. National Bureau of Economic Research, 2012.

HERRING, Horace *et al*. **Energy efficiency and sustainable consumption. The Rebound Effect**. Hampshire, 2009.

HICKEL, Jason; KALLIS, Giorgos. Is green growth possible? **New Political Economy**, v. 25, n. 4, p. 469-486, 2019.

JOSHUA, Udi; BEKUN, Festus Victor; SARKODIE, Samuel A. **New insight into the causal linkage between economic expansion, FDI, coal consumption, pollutant emissions and urbanization in South Africa**. AGDI Working Paper, 2020.

KEMP, René; SOETE, Luc. The greening of technological progress: an evolutionary perspective. **Futures**, v. 24, n. 5, p. 437-457, 1992.

KEMP, René. Technology and the transition to environmental sustainability: the problem of technological regime shifts. **Futures**, v. 26, n. 10, p. 1023-1046, 1994.

LESCHINSKI, Christian; VOGES, Michelle; SIBBERTSEN, Philipp. Integration and disintegration of EMU government bond markets. **Econometrics**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2021.

LUMLEY, Sarah; ARMSTRONG, Patrick. Some of the nineteenth century origins of the sustainability concept. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, n. 3, p. 367-378, 2004.

MAZZUCATO, Mariana; KATTEL, Rainer; RYAN-COLLINS, Josh. Challenge-driven innovation policy: towards a new policy toolkit. **Journal of Industry, Competition and Trade**, v. 20, n. 2, p. 421-437, 2020.

PEARCE, David. Economics, equity and sustainable development. **Futures**, v. 20, n. 6, p. 598-605, 1988.

PNUMA - UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **UNEP 2011 annual report**. Nairobi, 2012. Available at: https://www.unep.org/resources/annual-report/unep-2011-annual-report. Accessed on: 25 May 2023.

SACHS, Jeffrey D. *et al*. Six transformations to achieve the sustainable development goals. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 9, p. 805-814, 2019.

SANDBERG, Maria; KLOCKARS, Kristian; WILÉN, Kristoffer. Green growth or degrowth? Assessing the normative justifications for environmental sustainability and economic growth through critical social theory. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 133-141, 2019.

SMULDERS, Sjak; TOMAN, Michael; WITHAGEN, Cees. Growth theory and 'green growth'. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 423-446, 2014.

SOUZA, Igor Viveiros Melo; REISEN, Valderio Anselmo; FRANCO, Glaura da C. F.; BONDON, Pascal. The estimation and testing of the cointegration order based on the frequency domain. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 36, n. 4, p. 695-704, 2018.

WARD, J. D. et al. Is decoupling GDP growth from environmental impact possible?. **PloS one**, v. 11, n. 10, e0164733, 2016.

WEIZSÄCKER, E.; LOVINS, A. B.; LOVINS, L. H. **Factor four: doubling wealth, halving resource use**. London: Earthscan Publications, 1998.

1 Políticas orientadas por missão são ações governamentais movidas por desafios concretos e específicos, como o desenvolvimento de tecnologia para produção e uso mais eficiente de baterias, considerando toda a cadeia produtiva – da extração mineral ao uso comercial.

(*) Doutorando em Teoria Econômica na FEA/USP. (E-mail: alanleal@usp.br).
(**) Doutoranda em Teoria Econômica na FEA/USP. (E-mail: kssbugarin@gmail.com).