

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
DOUTORADO EM ECONOMIA

**ENSAIOS SOBRE DESEMPENHO SOCIECONÔMICO, COMPLEXIDADE
ECONÔMICA E PERFORMANCE AMBIENTAL**

UBERLÂNDIA-MG

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
DOUTORADO EM ECONOMIA

**ENSAIOS SOBRE DESEMPENHO SOCIECONÔMICO, COMPLEXIDADE
ECONÔMICA E PERFORMANCE AMBIENTAL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Economia.

Aluno: Marcelo Silva Simões

Orientador: Daniel Caixeta Andrade

UBERLÂNDIA-MG

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S611 2021	<p>Simões, Marcelo Silva, 1990- Ensaaios sobre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental [recurso eletrônico] / Marcelo Silva Simões. - 2021.</p> <p>Orientador: Daniel Caixeta Andrade. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Economia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.436 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Economia. I. Andrade, Daniel Caixeta, 1981-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Economia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 330</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Economia
 Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1J, Sala 218 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4315 - www.ppge.ie.ufu.br - ppge@ufu.br


ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Economia				
Defesa de:	Tese de Doutorado, Nº 75, PPGE				
Data:	25 de agosto de 2021	Hora de início:	14:20	Hora de encerramento:	18:10
Matrícula do Discente:	11713ECO008				
Nome do Discente:	Marcelo Silva Simões				
Título do Trabalho:	Ensaio sobre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental				
Área de concentração:	Desenvolvimento Econômico				
Linha de pesquisa:	Políticas Públicas e Desenvolvimento Econômico				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Desempenho socioeconômico e performance ambiental: contribuições teóricas e empírica da Economia Ecológica				

Reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Economia, assim composta: Professores Doutores: Ana Paula Macedo de Avellar - UFU; Carlos César Santejo Saiani - UFU; Carlos Eduardo Frickmann Young - UFRJ; Ademar Ribeiro Romeiro - UNICAMP; Daniel Caixeta Andrade - UFU orientador do candidato. Ressalta-se que em decorrência da pandemia pela COVID-19 e em conformidade com Portaria Nº 36/2020, da Capes e Ofício Circular nº 1/2020/PROPP/REITO-UFU, a participação dos membros da banca e do aluno ocorreu de forma totalmente remota via webconferência. O professor Carlos Eduardo Frickmann Young participou desde a cidade do Rio de Janeiro (RJ). O professor Ademar Ribeiro Romeiro participou desde a cidade de Campinas (SP). Os demais membros da banca e o aluno participaram desde a cidade de Uberlândia (MG).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Daniel Caixeta Andrade, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Caixeta Andrade, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/08/2021, às 10:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Cesar Santejo Saiani, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/08/2021, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Macedo de Avellar, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/08/2021, às 14:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ademar Ribeiro Romeiro, Usuário Externo**, em 15/09/2021, às 08:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Eduardo Frickmann Young, Usuário Externo**, em 27/09/2021, às 15:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2991550** e o código CRC **DB158FFB**.

**ENSAIOS SOBRE DESEMPENHO SOCIECONÔMICO, COMPLEXIDADE
ECONÔMICA E PERFORMANCE AMBIENTAL**

Tese de doutorado defendida em 25/08/2021

Banca examinadora constituída pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade
(PPGE-UFU)

Profª. Dra. Ana Paula Macedo de Avellar
(PPGE-UFU)

Prof. Dr. Carlos César Santejo Saiani
(PPGE-UFU)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Frickmann Young
(IE-UFRJ)

Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romeiro
(IE-UNICAMP)

UBERLÂNDIA-MG

2021

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado o privilégio de ter tido saúde, fé, lucidez e disposição para batalhar por mais esta conquista. Sou muito grato por toda confiança, carinho, orações e atenção dispendidos por meus pais, Sérgio e Valdete, meu irmão, Adriano, e demais familiares e amigos. Em especial, agradeço à minha amada esposa Hellen por todo o companheirismo, paciência e força que me deu neste tempo, e também pelo carinho indispensável de minha filha Melissa, cujo nascimento se deu ao longo desta caminhada do doutorado, e que hoje me enche de forças com seu amor incondicional.

Não tenho palavras para agradecer ao meu orientador, Prof. Daniel, pela longa jornada em que trabalhamos juntos, desde o primeiro ano de Iniciação Científica em 2009 até a finalização desta tese. Sou grato por ter acreditado e confiado em mim e por todo auxílio, seja na orientação do trabalho, conselhos profissionais e palavras de encorajamento nos momentos em que eu estava decidido em abandonar esta batalha. Sou grato a todo corpo docente do PPGE no nome da Prof.^a Ana Paula, que foi fundamental em um momento muito delicado, me enchendo de ânimo com suas palavras que tanto me ajudaram no momento mais delicado desta longa caminhada. Meu muito obrigado também ao Prof. Carlos Saiani, pelas fundamentais contribuições na análise econométrica desta tese. Agradeço ao corpo técnico e de apoio do PPGE no nome da caríssima secretária Camila, que com sua competência, tempestividade e presteza sempre me atendeu nos momentos em que precisava. Também me lembro carinhosamente dos amigos que fiz, dentre tantos outros, alguns mais próximos, como Francisco, Luiz Gustavo e Cláudio, que não mediram esforços para me auxiliarem com palavras e gestos, em especial ao longo das madrugadas de estudos. Agradeço aos membros da banca por todas as contribuições sugeridas e por ter ajudado no amadurecimento final deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos da SUPRAM Triângulo Mineiro, dentre outros, Chênia, Riane, Mariléa, Adriano Lourenço, Leonardo e Adriano Di Blasio, que sempre acreditaram em mim e me auxiliaram quando precisei me ausentar pelos estudos do curso de doutorado. Todo meu agradecimento à Ilma, minha diretora, cuja compreensão e apoio nunca faltaram nos momentos em que mais precisei de flexibilidade de horários para conciliar a rotina de estudos, e que sempre me deu um conselho e uma palavra de carinho quando eu parecia esmorecer.

Foram incontáveis as vezes em que planejei tudo para desistir e seguir outros desafios, mas devo esta tese a todos acima citados, sem os quais sequer uma página estaria hoje escrita.

Resumo

Esta tese é dedicada à investigação das relações entre economia e meio ambiente pelo debate entre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental. Busca-se uma perspectiva transdisciplinar, que envolva contribuições das escolas da teoria dos sistemas, institucionalista, evolucionária, econômico-ecológica e pós-keynesiana. Neste sentido, o primeiro ensaio é dedicado à definição do arcabouço teórico-analítico em que se entende as complexidades das relações reais entre economia e o meio ambiente. O esforço em concatenar as contribuições teóricas que facilitam a análise da realidade destas relações é fundamental para se conseguir formatar uma visão holística capaz de interpretar os resultados empíricos e as propostas de políticas públicas que vêm a seguir. O segundo ensaio tem como objetivo avaliar empiricamente o papel da complexidade econômica como melhoria da performance ambiental. Adicionalmente, discute-se a respeito do conceito de *decoupling* em suas dimensões de impacto e de recursos. Parte-se da hipótese de que a complexidade econômica tem diferentes impactos em termos de velocidade de ocorrência quando se leva em consideração estas duas dimensões do conceito. O teste empírico envolveu dados anuais para um conjunto de 115 países para o período de 1995 a 2015, perfazendo a estrutura de um painel de dados curto. Optou-se pela estratégia de subdividir a base de dados em duas partes: países mais complexos e países menos complexos. De modo geral, para os países mais complexos, a tendência do *decoupling* de recursos e de impacto ocorre de forma mais uniforme e de modo mais robusto na descarbonização da economia. Por outro lado, o comportamento para os países menos complexos foi o inverso: maior facilidade no *decoupling* de recursos e maior intensificação nas variáveis de impacto. O terceiro ensaio cuidou de realizar o diagnóstico sobre a insuficiência do *decoupling* como instrumento de alcance eficaz da transição para uma economia de baixo carbono adequado aos limites ecossistêmicos, em especial, em relação às metas do Acordo de Paris. Estruturou-se uma proposta de uma estratégia de desenvolvimento que é compatível com a busca pela suficiência das necessidades humanas básicas e dignidade de liberdade de escolhas, em um cenário mais realista de necessidade de redução da demanda final de uso de energia para se conseguir limitar o aquecimento global a 1,5°C até 2100, a partir de políticas macroeconômicas dentro do arcabouço pós-keynesiano que englobam a noção da sustentabilidade ambiental, e de políticas microeconômicas – em especial, “industriais verdes” – que possibilitem a atuação do Estado e da iniciativa privada em uma “estratégia de complexificação verde”. Assim, os países em desenvolvimento, menos complexos, teriam um “atalho” para alcançar a prosperidade socioeconômica, com menor intensidade de degradação ambiental e respeito aos limites ecossistêmicos.

Palavras-chave: desempenho econômico, performance ambiental, complexidade econômica, *decoupling*, economia ecológica, Antropoceno.

Abstract

This thesis is dedicated to the investigation of the relationships between economy and environment through the debate of socioeconomic development, economic complexity and environmental performance. A transdisciplinary perspective is sought, involving contributions from schools of systems theory, institutionalist, evolutionary, economic-ecological and post-Keynesianism. The first essay is dedicated to the definition of the theoretical-analytical framework in which the complexities of the real relations between economy and the environment are understood. The effort to concatenate the theoretical contributions that facilitate the analysis of the reality of these relationships is fundamental to be able to format a holistic view capable of interpreting the empirical results and the proposals for public policies that follow. The second essay aims to empirically assess the role of economic complexity as an improvement in environmental performance. Additionally, it discusses the concept of decoupling in its impact and resource dimensions. We start from the hypothesis that economic complexity has different impacts in terms of speed of occurrence when these two dimensions of the concept are taken into account. The empirical test involved annual data for a set of 115 countries for the period 1995-2015, making up the structure of a short data panel. We opted for the strategy of subdividing the database into two parts: more complex countries and less complex countries. In general, for the more complex countries, the trend towards decoupling resources and impact occurs more uniformly and more robustly in the decarbonization of the economy. On the other hand, the behavior for less complex countries was the opposite: greater ease in decoupling resources and greater intensification of impact variables. The third essay was responsible for diagnosing the inadequacy of decoupling as an effective instrument for achieving the transition to a low-carbon economy suited to ecosystem limits, in particular, in relation to the goals of the Paris Agreement. A proposal for a development strategy was structured that is compatible with the search for sufficiency of basic human needs and dignity of freedom of choice, in a more realistic scenario of the need to reduce the final demand for energy use in order to limit the global warming at 1.5°C by 2100, from macroeconomic policies within the post-Keynesian framework that encompass the notion of environmental sustainability, and microeconomic policies - in particular, "green industrial" - that enable the performance of the State and the initiative in a "green complexification strategy". Thus, developing countries, less complex, would have a "shortcut" to achieve socioeconomic prosperity, with less intensity of environmental degradation and respect for ecosystem limits.

Key words: economic performance, environmental performance, economic complexity, decoupling, ecological economics, Anthropocene

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Identidade de Paul Ehrlich – Principais <i>drivers</i> da escala econômico-ecológica.....	36
Figura 1.2 – A Curva de Kuznets Ambiental.....	54
Figura 1.3 – Efeitos escala e tecnológico do comércio internacional sobre o meio ambiente.....	55
Figura 1.4: Contribuições convergentes da teoria dos sistemas, economia-ecológica, institucionalista e evolucionária.....	68
Figura 2.1: <i>ECI</i> por países em 2017.....	96
Figura 2.2: Variáveis socioeconômicas e ambientais, escala e <i>performance</i> ambiental.....	98
Figura 2.3: Relações entre sistema econômico e meio ambiente.....	99
Figura 2.4: Impactos populacionais e econômicos sobre os ecossistemas globais.....	100
Figura 2.5: Relação complexidade econômica, consumo de energia e pegada ecológica.....	109
Figura 2.6: Dois aspectos do <i>decoupling</i>	119
Figura 3.1. Evolução do debate sobre crescimento econômico e meio ambiente.....	192
Figura 3.2: A “economia donut”.....	202

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Síntese comparativa entre os pensamentos mecanicista e sistêmico.....	33
Quadro 2.1: Estruturação do <i>EPI</i> (ponderação)	101
Quadro 2.2: Revisão da bibliografia empírica sobre o modelo STIRPAT.....	111
Quadro 2.3: Descrição das variáveis.....	123
Quadro 2.4: Regressões e variáveis explicativas.....	134
Quadro 2.5: Resultados das estimativas para variáveis de intensidade uso de recursos.....	135
Quadro 2.6: Resultados das estimativas para variáveis de intensidade de geração de impacto.....	136
Quadro 2.7: Resultados gerais para a intensidade dos impactos ambientais.....	144
Quadro A.I - Revisão da bibliografia sobre o método STIRPAT.....	152
Quadro A.II - Variáveis e definição.....	155
Quadro 3.1: Tecnologias de baixo carbono.....	217

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – TOP 10 <i>ECI</i> + Brasil – em 2017.....	99
Tabela 2.2 – <i>Ranking EPI</i> TOP 10 + Brasil em 2020.....	103
Tabela 2.3: TOP 20 países de maior <i>ECI</i> e variação da intensidade material e da intensidade carbônica.....	120
Tabela 2.4: TOP 20 países com menor <i>ECI</i> e variação de intensidade carbônica.....	121
Tabela A-IV.1 – Estatísticas descritivas – Amostra completa.....	159
Tabela A-IV.2 – Ranking de correlação de coeficientes de Spearman – Amostra completa....	160
Tabela A-IV.3 - Coeficientes das regressões - <i>lnIntDMC</i> – Amostra completa.....	161
Tabela A-IV.4 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntMFoot</i> – Amostra Completa.....	162
Tabela A-IV.5 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntENERUSE</i> – Amostra Completa.....	163
Tabela A-IV.6 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntCO2</i> – Amostra Completa.....	164
Tabela A-IV.7 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntCO2eq</i> – Amostra Completa.....	165
Tabela A-IV.8 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntCO2cons</i> – Amostra Completa.....	166
Tabela A-V.1 – Estatísticas descritivas - Subamostra de países menos complexos.....	167
Tabela A-V.2 – Ranking de correlação de coeficientes de Spearman – Subamostra de países menos complexos.....	168
Tabela A-V.3 - Coeficientes das regressões - <i>lnIntDMC</i> – Subamostra de países menos complexos.....	169
Tabela A-V.4 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntMFoot</i> – Subamostra de países menos complexos.....	170
Tabela A-V.5 – Coeficientes das regressões – <i>lnIntENERUSE</i> – Subamostra de países menos complexos.....	171

Tabela A-V.6 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2 – Subamostra de países menos complexos.....	172
Tabela A-V.7 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2eq – Subamostra de países menos complexos.....	173
Tabela A-V.8 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2cons – Subamostra de países menos complexos.....	174
Tabela A-VI.1 – Estatísticas descritivas - Subamostra de países mais complexos.....	175
Tabela A-VI.2 – Ranking de correlação de coeficientes de Spearman – Subamostra de países mais complexos.....	176
Tabela A-VI.3 - Coeficientes das regressões - lnIntDMC – Subamostra de países mais complexos.....	177
Tabela A-VI.4 – Coeficientes das regressões – lnIntMFoot – Subamostra de países mais complexos.....	178
Tabela A-VI.5 – Coeficientes das regressões – lnIntENERUSE – Subamostra de países mais complexos.....	179
Tabela A-VI.6 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2 – Subamostra de países mais complexos.....	180
Tabela A-VI.7 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2eq – Subamostra de países mais complexos.....	181
Tabela A-VI.8 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2cons – Subamostra de países mais complexos.....	182
Tabela 3.1: Desempenho dos países do G20 quanto à descarbonização de suas economias vis-à-vis as metas do Acordo de Paris.....	197

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
ENSAIO 1: Reflexões sobre desenvolvimento, complexidade e performance ambiental	25
1.1 Introdução	25
1.2 O ponto de partida: por uma visão sistêmica e econômico-ecológica	29
1.3 Complexidade e desenvolvimento: as perspectivas institucionalista e evolucionária e o papel das transformações estruturais	39
<i>1.3.1 A escola institucionalista</i>	40
<i>1.3.2 A escola evolucionária</i>	44
1.4 O papel do comércio internacional: três perspectivas teóricas	51
<i>1.4.1 A visão mainstream</i>	52
<i>1.4.2 Visão crítica à liberalização comercial</i>	58
<i>1.4.3 A visão econômico-ecológica: o comércio ecologicamente desigual</i>	60
1.5 Notas conclusivas	67
1.6 Referências bibliográficas	69
ENSAIO 2: Desempenho econômico e performance ambiental: fatos estilizados e abordagem empírica	80
2.1 Introdução	80
2.2 Propulsores da degradação ambiental: trabalhos empíricos utilizando o modelo STIRPAT	83
2.3 Complexidade econômica e degradação ambiental	86
<i>2.3.1 Complexidade econômica</i>	86
<i>2.3.2 Complexidade econômica e degradação ambiental: aspectos teóricos e empíricos</i>	104
<i>2.3.3 Decoupling, complexidade econômica e performance ambiental</i>	118
2.4 Investigação empírica sobre o <i>decoupling</i> de impacto e <i>decoupling</i> de recursos	123
<i>2.4.1 Estratégia econométrica</i>	131
<i>2.4.2 Resultados</i>	134
2.5 Discussão	147
2.6 Notas Conclusivas	150
Anexo I – Revisão da bibliografia sobre o método STIRPAT	152
Anexo II – Variáveis e definição	155
Anexo III – Listas de países	157
Anexo IV - Resultados das regressões por Efeitos Fixos - Amostra completa	159

Anexo V – Resultados das regressões por Efeitos Fixos – Subamostra de países menos complexos	167
Anexo VI – Resultados das regressões por Efeitos Fixos – Subamostra dos países mais complexos	175
2.4 Referências bibliográficas.....	183
ENSAIO 3: Desempenho econômico e performance ambiental numa perspectiva econômico-ecológica: diagnóstico, narrativas e estratégias de desenvolvimento no Antropoceno	189
3.1 Introdução.....	189
3.2 Decoupling e complexidade econômica: uma tendência inevitável?	191
3.3 Narrativas teóricas para o desenvolvimento econômico no Antropoceno.....	198
3.4 Em busca da alternativa necessária e possível de desenvolvimento econômico no Antropoceno.....	203
<i>3.4.1 A suficiência de necessidades humanas como objetivo central do desenvolvimento econômico</i>	<i>203</i>
<i>3.4.2 A adoção de cenário mais realista para a limitação do aquecimento global</i>	<i>205</i>
<i>3.4.3 O arcabouço de políticas macroeconômicas necessário: a estruturação da Macroeconomia Pós-Keynesiana do Meio Ambiente.....</i>	<i>207</i>
<i>3.4.4 Em busca da estratégia da complexificação verde: o papel das políticas industriais verdes na transição para economia de baixo carbono no Antropoceno</i>	<i>209</i>
3.5 Notas conclusivas.....	221
3.6 Referências Bibliográficas	222
CONCLUSÕES GERAIS	231

INTRODUÇÃO GERAL

A tese que ora se apresenta está dividida em três ensaios científicos, todos eles relacionados ao tema principal: *desempenho socioeconômico, a complexidade econômica dos países e suas respectivas performances ambiental*. Pretende-se abordá-lo tanto do ponto de vista teórico-metodológico quanto empírico. A motivação principal da tese é a proximidade de celebração do quinquagésimo aniversário de publicação famoso Relatório Meadows (MEADOWS *et al.*, 1972) sobre os limites ao crescimento econômico. Desde então, como se tem avançado no debate sobre as relações entre natureza, sociedade e economia? Quais são os novos *insights* teóricos e metodológicos? Esta tese procura apontar para alguns desdobramentos de fronteira para a análise destas relações.

A questão dos problemas ambientais e de suas consequências está nos debates mais diversos, e de forma cada vez mais recorrente, seja no âmbito dos hábitos de consumo pessoais, empresariais e governamentais, nas políticas de produção e *marketing* empresariais, nas plataformas de propostas políticas em períodos eleitorais, nos níveis local, regional, nacional e internacional. As evidências empíricas são cada vez mais robustas de que o aquecimento global e as crises socioeconômicas derivadas dos eventos das mudanças climáticas são graves, e que medidas devem ser tomadas em todas as esferas da sociedade no sentido de buscar soluções coordenadas para mitigação dos impactos negativos (MARQUES, 2015).

Robert Lucas, laureado com o Prêmio Nobel de Economia em 1995, certa vez disse: “uma vez que se começa a pensar no crescimento econômico, é difícil pensar em qualquer outra coisa As consequências para o bem-estar social são simplesmente extraordinárias”. Tal passagem, proferida por um dos mais importantes e influentes economistas da segunda metade do século XX, permite uma interpretação sugestiva sobre o principal foco da política econômica e da arte de teorizar a ciência econômica. Trata-se de uma excessiva ênfase no objetivo de crescimento econômico e a relativa negligência com outros temas igualmente importantes, como distribuição de renda, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental.

Isso não quer dizer que os economistas não tenham preocupação com estes outros temas. Na verdade, existe uma extensa literatura sobre questões distributivas e, mais recentemente, sobre sustentabilidade ambiental e as relações entre sistema econômico e meio ambiente. Não obstante a isso, ainda permanece consolidada na literatura a hipótese segundo a qual o processo de crescimento econômico seria suficiente para solucionar os problemas de desigualdade social e de degradação do meio ambiente. Exemplo disso são as abordagens estilizadas da Curva de

Kuznets e da Curva de Kuznets Ambiental (KUZNETS, 1955; GROSSMAN E KRUEGER, 1991).

Ademais, o discurso de busca incessante pelo crescimento econômico é refletido nas medidas de política econômica dos governos dos mais variados matizes ideológicos por todo o mundo. Isto é compreensível dado o imperativo político representado pelo crescimento econômico. Salvo raras exceções – que ocorrem em países pequenos e de economia de elevadíssimo nível de bem-estar socioeconômico, como os países nórdicos – a pauta de políticas públicas converge para a promoção da melhoria das condições de vida das populações e melhoria do ambiente de negócios da iniciativa privada por meio do aumento da produção econômica, tendo em vista o processo de geração de renda que propicia o incremento do Produto Interno Bruto (PIB), que continua sendo o principal indicador de evolução econômica das nações.

O apego ao crescimento econômico como um único objetivo de política revela uma confusão entre meios e fins. Isto porque o crescimento econômico tem um papel instrumental na obtenção do objetivo maior da sociedade, que é o aumento contínuo e sustentável da prosperidade humana. Todavia, desde a emergência da sociedade industrial prevalece a ideia que este crescimento por si só é capaz de assegurar o aumento da qualidade de vida e da justiça social, assim como o equilíbrio ecológico. Tem sido tão avassaladora esta ideia que todo o esforço civilizatório realizado desde então é capitaneado pela busca incessante do progresso material como via única para a felicidade humana.

Pelo menos desde meados do século passado este argumento vem sido crescentemente questionado por acadêmicos de variadas tradições teóricas. Na década de 1970 estudos liderados por Richard Easterlin conduziram a conclusões inquietantes: a correlação entre crescimento econômico e bem-estar é válida até certo nível de renda, a partir do qual aumentos na afluência material não resultam em aumento da percepção de bem-estar (EASTERLIN, 1974). Na literatura, tal abordagem ficou conhecida como “Paradoxo de Easterlin” (SEN, 1999; STEVENSON E WOLFERS, 2008; ALBOR, 2009; ATKINSON, 2013).

Mais recentemente, autores da economia ecológica vêm repetidamente alertando para o fato de que o foco exclusivo no crescimento pode conduzir a humanidade a situações catastróficas e potencialmente irreversíveis. Herman Daly, um de seus principais teóricos, cunhou o termo *crescimento deseconômico* (ou *não econômico*) para se referir a estágios em que os custos advindos do crescimento econômico em termos de externalidades sociais e ambientais são superiores aos benefícios obtidos (DALY, 1990).

Como será demonstrado no Ensaio 1 desta tese, numa perspectiva econômico-ecológica, o crescimento econômico diz respeito à expansão física da economia, tradicionalmente captada pelo PIB. Para a produção de bens e serviços, demanda-se energia e matéria de baixa entropia, com elevada capacidade de geração de trabalho, sendo devolvido ao meio ambiente energia e matéria degradados; portanto, observa-se o sistema econômico por uma perspectiva sócio metabólica (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). O crescimento econômico não é, por si só, indesejável, tendo em vista a possibilidade de direcioná-lo para setores econômicos menos intensivos em degradação ambiental. Mas há limites biofísicos para a expansão do sistema econômico, que não pode crescer fisicamente indefinidamente, dado que é um subsistema da biosfera, que é um sistema fechado, e dada a incapacidade de reciclagem total da matéria que sai do sistema econômico degradada.

No que tange à discussão sobre desenvolvimento econômico, entende-se que este é abrangente muito além do crescimento da renda per capita, incorporando ainda a ótica socioambiental. Entende-se o desenvolvimento numa perspectiva econômico-ecológica e seniana. O progresso civilizatório deve ser observado para além das medidas de renda e riqueza, passando a incorporar, além do PIB, as esferas sociais e ambientais. Portanto, é indissociável das noções de melhorias de oportunidades de ascensão social, de condições de saneamento, de educação, saúde e demais serviços básicos (SEN, 1999). Tudo isto tendo-se estabelecida a escala ecologicamente sustentável, entendida como primeiro limitador para o espaço em que ocorrerá o crescimento econômico, sendo que a eficiência alocativa e a justa distribuição de renda, dentro da noção de desenvolvimento sustentável, devem partir desta primeira adequação.

Esta vertente teórica ressalta que todo o processo de desenvolvimento econômico é inexoravelmente dependente do capital natural, qual seja, o conjunto de recursos naturais e suas inter-relações, que propiciam bens e serviços que agregam valor à sociedade. A biosfera, como a reunião dos ecossistemas naturais, contém a base de funcionamento dos subsistemas socioeconômicos, e apresenta limites – a maioria, desconhecidos – quanto à resiliência de seu funcionamento orgânico, sendo que potenciais distúrbios causados pelas atividades antropogênicas podem engendrar graves danos ambientais. Os impactos ambientais têm potencial de geração de prejuízos irreversíveis à qualidade dos ecossistemas e, por consequência, à capacidade de apropriação de valor pela sociedade. As atividades econômicas apenas são sustentáveis se estiverem baseadas em ecossistemas resilientes (ARROW, 1995).

No Brasil, a ideia de crescimento não econômico pode ser relacionada a episódios recentes. As tragédias de Mariana-MG, em novembro de 2015, e de Brumadinho-MG, em 2019,

refletem de maneira inequívoca os custos ambientais e sociais resultantes da atividade mineradora. Centenas de vidas humanas foram ceifadas, projetos e histórias de vida interrompidos, espécies animais e vegetais desapareceram, assim como a qualidade ambiental dos ecossistemas foi irreparavelmente atingida. Também é importante observar que o prejuízo econômico causado por tais desastres, além de serem de montante elevado no curto prazo (como indenizações a serem pagas pela empresa responsável pelas barragens, além de perdas relacionadas à produção agrícola, pesqueira e imobiliária), grande parte também será sentido no longo prazo, causando migrações de populações e atividades econômicas que muitas vezes são imensuráveis do ponto de vista monetário.

Há evidências científicas robustas de que as atividades econômicas têm gerado mudanças na biosfera de grande impacto na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas. Tal foi a conclusão de Marques (2015), que em *Capitalismo e Colapso Ambiental* reúne um conjunto relevante de informações sobre as principais crises socioambientais contemporâneas e os elementos estruturalmente presentes na lógica de acumulação capitalista e sua incompatibilidade com a manutenção de um meio ambiente resiliente. Este tipo de análise também converge com a narrativa do Antropoceno, expressão que designa o protagonismo das forças antrópicas na dinâmica de mudança global (CRUTZEN, 2006; STEFFEN *et al.*, 2007).

O ritmo de extinção de espécies e perda de biodiversidade é o maior que se tem notícia, em especial quanto aos insetos polinizadores, com inevitável perda de produtividade da produção agrícola e necessário aumento do uso de tecnologias artificiais agressivas ao meio ambiente. A escassez de água e de solos férteis tem provocado conflitos diplomáticos e grandes deslocamentos de pessoas, em especial na África e Ásia, levando a graves perturbações sociais. A intensidade de tempestades naturais é cada vez mais avassaladora, causando prejuízos econômicos (e humanos) a milhões de pessoas, em regiões como países caribenhos com furacões, Califórnia e Europa Ibérica com incêndios florestais, nevascas ao Norte dos EUA, tempestades no Rio de Janeiro e Filipinas e seus deslizamentos de terras. As mudanças climáticas se intensificam, e os esforços para promoção do crescimento econômico não têm se alinhado às necessidades de adaptação do modelo econômico a este cenário de mudanças de longo prazo na capacidade de desenvolvimento dos países. Uma estratégia é certamente a utilização de indicadores de impactos ambientais para que se possa ter a medida dos prejuízos socioeconômicos e ambientais, e propiciar informações para a tomada de decisão pública e privada.

Desde a década de 1970 se buscou, em meios multilaterais, a cunhagem de um modelo de desenvolvimento econômico que fosse harmonioso com a saúde e qualidade dos ecossistemas, dito de maneira geral como “sustentável” (NOBRE e AMAZONAS, 2002). A definição ganhou forma consensual na Rio 1992, considerada como o ápice do processo de incorporação do desenvolvimento sustentável na agenda de políticas públicas. Em 1987, o Relatório Nosso Futuro Comum (ou Relatório Brundlant) já trazia a sua definição consagrada, que é o desenvolvimento que atende as necessidades da geração presente, propiciando condições para que as futuras gerações também tenham as mesmas condições de atendê-las, sendo economicamente eficiente, socialmente justo e ambientalmente sustentável (MUELLER, 2007).

Vinte anos após a Rio-92, foi realizada a Rio+20, em um contexto de maior amadurecimento do consenso científico e da consciência multilateral sobre o aquecimento global, demonstrado em especial pelos diferentes efeitos sobre o planeta em vários cenários de aumento da temperatura média global nos estudos do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas da ONU (IPCC). Neste encontro, por meio do relatório final “O Futuro que Queremos”, fora popularizado o termo “Economia Verde”, que reflete o entendimento da necessidade de transição para uma estrutura global de produção, distribuição e consumo no sentido de menor intensidade material e poluente, sendo o objetivo maior a erradicação da pobreza e da fome no mundo.

Este modelo de desenvolvimento é marcado pelo pelas tecnologias verdes, utilização de fontes de energias mais limpas, promoção da eficiência energética nos âmbitos domésticos, de transporte, industriais e no setor de serviços, com geração de empregos mais voltados a atividades ligadas ao conhecimento, fortalecimento da infraestrutura ambiental por meio de mecanismos de mercado, como o MDL e a remuneração por Redução de Emissões de GEE pelo Desmatamento e Degradação Florestal evitado (REDD) e financiamento desta migração de padrão de desenvolvimento via “cooperação Norte-Sul”.

Decorridas quase três décadas, em 2015, foi publicada a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, como uma continuidade e evolução da Agenda 2021 e dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Nesta, estão estabelecidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas para serem alcançadas ao longo de 15 anos, em que novamente pode-se encontrar o protagonismo da preocupação ambiental. Nesta Agenda ficam delineadas as principais metas em âmbito multilateral na busca do desenvolvimento socioeconômico em um ambiente marcado pelos impactos das mudanças climáticas e da

depleção ambiental. No entanto, algumas metas parecem ser impossíveis de serem alcançadas de forma conjunta, como a 8 (item 8.1: “Sustentar o crescimento econômico per capita de acordo com as circunstâncias nacionais e, em particular, um crescimento anual de pelo menos 7% do PIB nos países menos desenvolvidos”), a 13 (“Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”) e a 15 (“Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”) (HICKEL, 2020; WIEDMANN et al., 2020).

Na COP-21, também em 2015, foi celebrado o Acordo de Paris, principal figura institucional a nível global no que diz respeito a esforços de mitigar a escala e os impactos do aquecimento global. Os 195 países que ratificaram o Acordo se comprometeram a unir esforços, de acordo com suas respectivas capacidades, para limitar o aquecimento global, no ano de 2100, para bem menos de 2°C, buscando esforços para limitá-lo em 1,5°C, de modo que os impactos do aquecimento global sejam mitigados ao máximo dentro de um novo modelo de desenvolvimento econômico, baseado na economia de baixo carbono. Aqui há o claro consenso de que é urgente a mudança do padrão tecnológico das economias no sentido de que se abandone gradualmente a matriz energética baseada em combustíveis fósseis e o padrão de mudança do uso da terra em áreas de vegetação nativa principalmente nos países em desenvolvimento localizados na zona tropical.

A ratificação do acordo ficou aberta pelo período de 22 de setembro de 2016 a 21 de setembro de 2017. A adesão foi maciça, incluindo os principais países poluidores, sejam eles desenvolvidos ou em desenvolvimento. Neste acordo, os países delinearão em 2015 as intenções de Contribuições Nacionalmente Determinadas (iCNDs), que foram assumidas como compromissos formais, ratificados pelos respectivos Congressos ou autoridades políticas correspondentes, sendo transformadas em CNDs. Cada país, de forma voluntária e conforme suas prioridades e estratégias, determinou suas ações e metas para diminuição das emissões – em geral tendo como linha de base as do ano de 2005 – para o ano de 2030.

Para que tais CNDs sejam alcançadas, será necessário um enorme esforço, tanto no âmbito nacional quanto internacional, de financiamento da mudança de padrão tecnológico de desenvolvimento dos países, no sentido de que continuarão buscando o crescimento econômico, mas com enorme e crescente diminuição da intensidade carbônica por unidade de PIB. Visando isto, foi acordado que os países desenvolvidos deverão arcar anualmente com US\$ 100 bilhões, para financiar a transição principalmente nos países em desenvolvimento, que estão distantes

do processo de geração das inovações “verdes” e da adoção de tecnologias de fronteira, mas crescimento econômico deve continuar para aumentar o nível de bem-estar de suas populações e alcançarem os objetivos da Agenda 2030.

É importante contextualizar a definição de limites internacionalmente acordados no aumento da temperatura média global com a noção de “*planetary boundaries*”, discutidos em Rockstrom *et al.* (2009). O estabelecimento de limites à escala material e energética do crescimento econômico converge para a noção de respeito à resiliência ecossistêmica e Princípio da Precaução compreendidos no arcabouço da Economia Ecológica.

Assim como a mineração, todas as demais atividades econômicas são intrínseca e irremediavelmente dependentes do meio ambiente. A tese ora desenvolvida parte da premissa fundamental de que sistema econômico e meio ambiente são dois sistemas que coevoluem e apresentam inexoráveis inter-relações. No século XXI, diante de várias crises socioambientais (mudanças climáticas, perda de biodiversidade, segurança alimentar e hídrica, justiça social e, mais recentemente, crises sanitárias), não é mais possível conceber estratégias para o crescimento econômico sem um olhar cuidadoso para com os impactos ambientais gerados. Segundo a segunda lei da termodinâmica (Lei da Entropia¹), a atividade econômica é inerentemente geradora de depleção ambiental. Faz-se necessário, portanto, avaliar as formas de mensuração destes impactos e o que determina o desempenho ambiental das mais diversas economias, com o intuito de fornecer evidências empíricas para a tomada de decisão dos formadores de políticas públicas no sentido de adequação do modelo de desenvolvimento atual, agressivo ao meio ambiente, a uma estratégia mais sustentável.

De um lado, é certo que, do ponto de vista multilateral, os governos têm feito esforços – em maior ou menor escala – em busca de acordos que levem à mitigação dos impactos ambientais a partir das atividades econômicas. Dentre estes, os principais são o Protocolo de Kyoto, assinado em 1998, e finalmente o Acordo de Paris (2015). Por outro lado, porém, tem crescido um discurso baseado no liberalismo econômico apregoado por alguns governos, como é caso brasileiro atualmente, de que as preocupações com as mudanças climáticas são periféricas em relação aos interesses soberanos de buscar resolver os problemas nacionais de crescimento econômico. É preciso questionar se a aplicação de políticas econômicas “liberalizantes”, como a abertura comercial, é convergente com os objetivos de mitigação dos impactos ambientais tão necessários para a sustentabilidade do sistema econômico e ambiental.

¹ Vide a obra magna do principal teórico da economia ecológica, Nicholas Georgescu-Roegen: *The entropy law and the economic process* (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

As consequências de políticas econômicas liberais sobre a performance ambiental dos países precisam ser melhor investigadas e é um dos pontos de partida para a análise que pretende realizar nesta tese.

Aqui, é fundamental fazer uma diferenciação sobre dois conceitos fundamentais nesta tese: crescimento econômico e desenvolvimento econômico.

Neste contexto é possível enunciar o principal *problema de pesquisa* ser investigado nesta tese: *quais são os condicionantes principais da performance ambiental dos países?* Por condicionantes entende-se aqui um conjunto de variáveis econômicas, sociais, políticas, tecnológicas e institucionais que determinam a dinâmica econômica e, portanto, os impactos ambientais. Estes últimos, por sua vez, indicam, grosso modo, a performance ambiental dos países.

A *hipótese principal* é a de que a diversidade de aspectos econômicos, sociais, políticos e institucionais conduzem a distintas configurações estruturais e conjunturais em termos de estilo de desenvolvimento. Estas, por sua vez, são refletidas em diferentes performances ambientais (magnitudes distintas de impactos ambientais). A hipótese deste trabalho é complementada, ainda, com o reconhecimento de que os impactos ambientais jamais poderão ser completamente anulados, fato este evidenciado pela 2ª Lei da Termodinâmica (Lei da Entropia), mas podem e devem ser minimizados de maneira a garantir a sustentabilidade ecológica e a continuidade das atividades econômicas, inescapavelmente dependentes do meio ambiente.

O *objetivo principal* da tese será, portanto, investigar quais são os principais determinantes da performance ambiental dos diversos países, com destaque para a complexidade econômica. Isto é, a intenção maior da tese será apresentar, por meio de estudos teóricos e empíricos, quais são os aspectos relevantes para explicar diferentes perfis de desempenho socioeconômico e performance ambiental.

Para se atingir o objetivo a que se propõe, a tese será composta de três ensaios científicos. No primeiro ensaio, realiza-se uma revisão teórica sobre as relações entre as escolas econômico-ecológica, institucionalista e a teoria da complexidade, de modo a alcançar um *framework* analítico que seja suficiente para se analisar as relações entre a biosfera e o sistema econômico, entendendo-se, portanto, o papel da complexidade no processo de coevolução destes sistemas. A contribuição principal, portanto, é conceber um arcabouço teórico-analítico que seja suficiente para se entender a relação economia-meio ambiente de forma satisfatória, realista, de modo que a complexidade seja tida como fator preponderante para o entendimento

das relações entre os sistemas. Ademais, discute-se a importância fundamental do comércio internacional nestas relações, visto este ser um componente fundamental na geração de crescimento econômico e, conseqüentemente, de degradação ambiental entre os países, sendo fundamental entender-se, a partir de diversos pontos de vista, o papel do comércio internacional como gerador de progresso socioeconômico e de impactos ambientais, intra e inter nações.

No segundo ensaio, faz-se uma revisão teórico e empírica sobre a relação entre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental; num segundo momento, realiza-se uma investigação econométrica utilizando-se o modelo *Stochastic Estimation of Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology* (STIRPAT), buscando-se analisar o impacto principalmente da evolução da complexidade econômica sobre a intensidade carbônica e material de países selecionados. Este ensaio é rico em contribuições para o debate entre desenvolvimento econômico e performance ambiental, visto que os resultados das estimações econométricas levam ao entendimento dos diferentes impactos sobre as variáveis de intensidade de degradação ambiental gerados, principalmente, pela complexidade econômica, abertura comercial, fluxo de entrada de investimento estrangeiro direto, liberdade econômica e participação dos combustíveis de fontes renováveis na matriz energética, de acordo com o nível de desenvolvimento dos países (análise agregada e desagregada conforme países menos/mais complexos). Aqui, observa-se tendências distintas quanto à ocorrência do *decoupling* ou intensificação no uso de recursos e de impacto entre as nações, com importantes insumos para proposições de políticas públicas.

No terceiro ensaio, realiza-se um diagnóstico sobre a adequação – ou não – do ritmo de *decoupling* de recursos e de impacto dos países como solução para a questão ambiental, além de buscar narrativas teóricas que buscam propor soluções alternativas para tornar do desenvolvimento socioeconômico coerente com os limites biosféricos. Por fim, confronta-se as contribuições dos dois ensaios anteriores na proposição de estratégias de políticas públicas para a transição para uma economia de baixo carbono e de menor intensidade material, por meio da chamada “estratégia de complexificação verde” para os países menos complexos, a partir de uma perspectiva econômico-ecológica. Este ensaio traz a fundamental contribuição de contextualizar às previsões de mudanças climáticas um cenário mais realista de arcabouço macro e microeconômico que seja robusto para lidar com os desafios de adaptação do sistema econômico às metas do Acordo de Paris.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBOR, C. How much can money buy happiness? Is the debate over for the Easterlin Paradox?. **Radical Statistics**, v. 98, p. 38-49, 2009.
- ARROW, K., BOLIN, B., COSTANZA, R., DASGUPTA, P., FOLKE, C., HOLLING, C.S., JANSSON, B.-O., LEVIN, S., MÄLER, K.-G., PERRINGS, C., PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity and the environment. **Science** **268**, p. 520–521, 1995.
[https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- ATKINSON, S. Beyond components of wellbeing: The effects of relational and situated assemblage. **Topoi**, v. 32, n. 2, p. 137-144, 2013. DOI: 10.1007/s11245-013-9164-0
- CRUTZEN P.J. The “Anthropocene”. In: Ehlers E., Krafft T. (eds) **Earth System Science in the Anthropocene**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. DOI: 10.1007/3-540-26590-2_3.
- DALY, H.E. Toward some operational principles of sustainable development. **Ecological Economics**, v.2, p. 1-6, 1990. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(90\)90010-R](https://doi.org/10.1016/0921-8009(90)90010-R)
- EASTERLIN, R. A. Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence. In: **Nations and households in economic growth**. Academic Press. p. 89-125, 1974. DOI: 10.1007/BF00286477
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. Cambridge: NBER, 1991. (Working paper n. 3914). Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/6853464.pdf>> Acesso em fevereiro de 2019. DOI: 10.3386/w3914
- KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**, v. 45, p.28. 1955.
- MARQUES, L. C. **Capitalismo e colapso ambiental**. Editora Unicamp, 2016.
<https://doi.org/10.7476/9788526815032>
- MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J., BEHRENS III, W. **The limits to growth**. Nova York: Universe Books, 1972. <https://doi.org/10.2307/3956765>.
- MUELLER, C. C. **Os Economistas e as Relações entre o Sistema Econômico e o Meio Ambiente**. Brasília: Editora da UnB: Finatec, 2007. ISBN-13: 978-8523008505.
- NOBRE, M., AMAZONAS, M. de C. **Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: Edições Ibama, 2002. ISBN: 85-7300-103-8.

SEN, A. K. Democracy as a universal value. **Journal of democracy**, 10(3), 3-17, 1999. DOI:10.1353/jod.1999.0055.

STEFFEN, W., CRUTZEN, P.J., MCNEILL, J.R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment** 36(8), 2007. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2).

STEVENSON, B., WOLFERS, J. **Economic growth and subjective well-being: Reassessing the Easterlin paradox**. National Bureau of Economic Research, 2008. DOI 10.3386/w14282.

ENSAIO 1: Reflexões sobre desenvolvimento, complexidade e performance ambiental

1.1 Introdução

Passadas duas décadas do século XXI, muitos países – alguns em desenvolvimento, inclusive o Brasil – parecem continuar apostando em um estilo de desenvolvimento econômico nocivo ao meio que os detém, qual seja, a biosfera. Com o propósito de fomentar a prosperidade econômica capitalista, com intensivo uso de matéria-prima e energia fóssil que movimenta um sistema de consumo de massas de bens e serviços para uma riqueza cada vez mais mal distribuída, tal estilo mostra suas fragilidades frente as recentes crises, sejam elas econômicas, sanitárias ou climáticas (ALVES, 2016).

Considera-se que o modelo de desenvolvimento atual, baseado principalmente em combustíveis fósseis e retirada da cobertura vegetal das florestas, é agressivo ao meio ambiente pois revelou ser intensificador dos impactos ambientais, culminando em uma das mais graves ameaças à humanidade – as mudanças climáticas. Este modelo revelou-se particularmente perverso a partir da década de 1950, período chamado de “A grande Aceleração”, pois o crescimento dos impactos ambientais assume uma trajetória ainda mais ascendente, o que vem sendo usado por cientistas como uma evidência robusta de passagem do Holoceno para o Antropoceno (STEFFEN *et. al*, 2007)². Muito embora as preocupações com a sustentabilidade ecológica, social e econômica do desenvolvimento humano estejam definitivamente incorporadas às agendas das principais instituições mundiais – vide a Agenda Global de Desenvolvimento 2030 – é forçoso admitir que não há consenso sobre como harmonizar as relações homem e natureza.

O Holoceno, iniciado há cerca de 12.000 anos, é considerado um período sem precedentes em termos de estabilidade climática que possibilitou o florescimento das grandes civilizações humanas desde o domínio da agricultura (revolução do Neolítico). Nas palavras de Veiga (2019), o Holoceno permitiu, pois, o início do *processo civilizador humano*. Já o Antropoceno se caracteriza por mudanças globais que foram geradas pelas atividades

² Sugere-se a consulta pormenorizada ao portal digital “*Welcome to the Anthropocene*” para acesso a informações e dados científicos sobre o sistema Terra, as mudanças globais recentes, evidências da “Grande Aceleração” a partir dos anos 1950 e passagem para o Antropoceno.

antrópicas, como o aumento sem precedentes da concentração de gases de efeito estufas derivados do uso de combustíveis fósseis, crises hídricas, perda de solos férteis e extinção em massa de espécies, levando o empobrecimento da biodiversidade de fauna e flora (VEIGA, 2019).

A humanidade foi capaz de acelerar o processo de aquecimento global, levando a mudanças climáticas ocorridas em ritmo sem precedentes. Tais mudanças colocam o equilíbrio de funcionamento dos ecossistemas globais em risco, com o planeta já tendo ultrapassado várias das fronteiras seguras de seus sistemas (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009, VEIGA, 2019; RAWORTH, 2019). Certamente, a biosfera buscará novos pontos de equilíbrio dinâmico que, talvez e muito provavelmente, não sejam viáveis para a manutenção da civilização como é conhecida hoje (DIRZO *et al.*, 2014; STEFFEN *et al.*, 2018; RIPPLE *et al.*, 2017). A *The Stern Review on the Economics of Climate Change* argumenta que a mudança climática tem características específicas que a análise econômica precisa incorporar: é global em suas causas e consequências; os impactos são de longo prazo e persistentes; incertezas e risco são indissociáveis; e existência de um risco sério de mudanças irreversíveis com efeitos econômicos profundos (STERN e STERN, 2007).

As economias hoje consideradas desenvolvidas, por exemplo, os Estados Unidos da América, a região da União Europeia, Japão e, de maneira geral, aqueles que constituem a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), utilizaram ao longo do século XX um modelo de desenvolvimento de elevada escala ambiental, com uso de energia fóssil, expansão das fronteiras agrícolas sobre biomas naturais, extração de recursos minerais, florestais, e consumo de massas em um período que o mundo ainda era considerado “vazio”, ou seja, o tamanho do transumo³ ainda era pequeno frente a capacidade de os ecossistemas absorverem tais impactos (DALY, 2005; COSTANZA, 2009; ANDRADE *et al.*, 2012).

No entanto, com o passar das décadas e o período de Grande Aceleração econômica, com países como China e Tigres Asiáticos conseguindo realizar o *catch-up* tecnológico e outros, como os latino-americanos e africanos, sem conseguir completar seu processo de desenvolvimento, o século XXI apresenta um mundo “cheio”, em que não é mais viável a manutenção da mesma “receita” de desenvolvimento utilizada no passado para a prosperidade

³ O transumo (*throughput*) diz respeito à soma dos fluxos de entrada de matéria e energia de baixa entropia do sistema biofísico para o subsistema econômico e a saída de matéria e energia degradada, dando, portanto, a noção do impacto escalar da economia sob o meio ambiente (MUELLER, 2007). Este conceito será melhor detalhado no Ensaio 2.

socioeconômica no presente. Maior prova disso é o estabelecimento dos compromissos voluntários acordados de redução de emissões de gases de efeito estufa sob o Acordo de Paris, de 2015, que revela o elevado grau de consenso internacional sobre as mudanças climáticas e os riscos que trazem para a civilização.

Diante do gigantismo dos desafios colocados pela crise do regime socioeconômico-ecológico trilhado pela humanidade desde a Revolução Industrial, o ponto de partida deste ensaio é que a noção de complexidade se faz indispensável para reflexões mais assertivas sobre os caminhos possíveis. No aspecto ambiental, ela remete ao fato de que os sistemas biogeoquímicos funcionam de maneira imbricada, interdependente, sendo que a soma individual de suas funções é muito menor do que o valor de seu funcionamento conjunto. O processo de desenvolvimento de ecossistemas, assim como o econômico, é estritamente *path dependence*, cumulativo, havendo infinitos possíveis equilíbrios dinâmicos a partir dos processos evolutivos e coevolutivos pelos quais se deparam por choques endógenos ou exógenos (NORGAARD, 1984; VAN DER BERGH e GOWDY, 2000). Neste primeiro ensaio, a complexidade é observada, portanto, de um ponto de vista mais amplo, ou seja, da noção sistêmica da vida e da inter-relação dos ecossistemas e também com o meio econômico e social. Já no segundo ensaio, a discussão se dará objetivamente sobre a complexidade do ponto de vista econômico.

No contexto de evolução e coevolução dos sistemas economia-meio ambiente, diversas variáveis de características da afluência econômica e tecnológicas das sociedades são fundamentais de serem levadas em consideração, pois aumentam a complexidade das relações entre estes sistemas. O nível de renda per capita, tamanho da população e sua distribuição entre zonas rurais e urbanas, participação do produto industrial no valor agregado da economia, dentre outras variáveis, são essenciais na análise. Quando se leva em consideração a necessidade dos países se relacionarem para conseguirem benefícios mútuos na geração de valor e no atendimento das necessidades de consumo de sua população, o comércio internacional surge como elo fundamental na discussão entre desenvolvimento socioeconômico e performance ambiental.

No que tange à relação entre o comércio internacional e a degradação ambiental, há duas correntes distintas que apresentam força no debate acadêmico. De um lado, há aqueles que defendem que maior liberdade comercial propicia, por um lado, maior competitividade econômica e também apropriação e inovação tecnológica, o que leva a métodos produtivos mais

“descarbonizados” com vistas a atender os padrões de legislação ambiental cada vez mais rígidos ao longo do processo de desenvolvimento das nações. Aqui encontram-se os defensores da Hipótese de Porter e da Curva de Kuznets Ambiental (GILL et al., 2018).

De outro lado, existe o grupo dos “ambientalistas céticos”, que argumentam que uma maior liberalização comercial tende a ser perniciososa em termos de degradação ambiental para os países menos desenvolvidos. Uma tese é a de que empresas poluidoras antes lotadas em países desenvolvidos sejam atraídas para “refúgios de poluição” em que se tornariam os países em desenvolvimento, devido a legislação ambiental menos rigorosa e do baixo *enforcement* daquela existente (KORVES et al., 2011).

Para entendimento desta discussão, discutir-se-á a relação entre comércio internacional, desenvolvimento econômico e performance ambiental a partir de três óticas, quais sejam: a liberal (representada pelos argumentos defendidos, principalmente, pela Organização Mundial do Comércio (OMC), com análise dos conceitos de Curva de Kuznets Ambiental, Hipótese da Dotação de Fatores e Hipótese de Porter); a crítica (relacionada a Hipótese de Refúgios de Poluição e Hipótese “*race to the botton*”); e, dentro da última, a ligada à economia ecológica (em especial, a tese do comércio ecologicamente desigual).

Explicitados os elementos categoriais relevantes – de um lado o desempenho econômico refletido pela estrutura produtiva e, de outro, a performance ambiental mensurada pelos indicadores acima arrolados – é possível estabelecer a pergunta-problema deste ensaio: *é possível estabelecer um diálogo entre complexidade e performance ambiental?* A hipótese é de que as conexões entre complexidade e qualidade ambiental (ou, em última instância, sustentabilidade ecológica) só podem ser apreendidas a partir de uma abordagem sistêmica, econômico-ecológica e evolucionária como arcabouço teórico. Presume-se, portanto, que a tentativa de desvendar os elos existentes entre complexidade e performance ambiental não pode se dar nos marcos teóricos da teoria econômica convencional, sendo necessário, portanto, a busca de ferramentas analíticas mais robustas que permitam o tratamento adequado das várias categorias de análise.

Este ensaio inaugura esta tese no sentido de que define explicitamente o marco teórico que se pretende seguir para lograr os objetivos gerais colocados. Em particular, intenciona-se aqui indicar como a articulação de três perspectivas teóricas – a economia ecológica, a perspectiva institucional e a abordagem evolucionária – pode ser um elemento facilitador da compreensão dos aspectos relacionados à noção de complexidade no âmbito econômico e

ecológico. Em última instância, o esforço teórico deste ensaio pode subsidiar o entendimento das vias possíveis de desenvolvimento para os países que ainda não realizaram o *catch-up* tecnológico e alcançaram nível de bem-estar socioeconômico suficientes para uma vida humana digna e sustentável.

Além desta breve introdução, o ensaio é composto de três outras seções. Na segunda, aborda-se a linha de pensamento da visão sistêmica da economia, suas premissas e como ela se relaciona com a economia ecológica. Em seguida, discute-se a relação entre a economia e a noção de complexidade na discussão sobre sustentabilidade ambiental, lançando-se mão das contribuições da perspectiva evolucionista e institucional. Na terceira seção será feita uma análise sobre a fundamental discussão do papel do comércio internacional na relação desenvolvimento econômico e performance ambiental.

1.2 O ponto de partida: por uma visão sistêmica e econômico-ecológica

Nicholas Georgescu-Roegen (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, 1975) talvez tenha sido o autor da literatura econômica com a crítica mais contundente sobre a “teimosia” dos economistas no apego à epistemologia mecânica, resultando na inadequação da teoria econômica convencional em investigar os problemas reais, principalmente aqueles ligados à relação entre natureza-sociedade-economia. Em suas palavras:

“It is curious, therefore, that economists have over the last hundred years remained stubbornly attached to one particular idea, the mechanistic epistemology which dominated the orientation of the founders of the Neoclassical School. By their own proud admission, the greatest ambition of these pioneers was to build an economic science after the model of mechanics - in the words of W. Stanley Jevons as “the mechanics of utility and self-interest”. Like almost every scholar and philosopher of the first half of the nineteenth century, they were fascinated by the spectacular successes of the science of mechanics in astronomy and accepted Laplace’s famous apotheosis of mechanics as the evangel of ultimate scientific knowledge” (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Como afirmam Cechin e Veiga (2010), uma das consequências da visão de mundo mecânica é a desconsideração do tempo histórico e a possibilidade de reversão dos fenômenos. O diagrama do fluxo circular da renda – exemplo compartilhado presente em todos os manuais introdutórios de economia – demonstra de maneira cabal a essência do funcionamento do sistema econômico enquanto sistema isolado da natureza que recicla perfeitamente sua matéria e

energia. Além da impossibilidade física de uma máquina moto-perpétua, esta representação de mundo é irreal e revela a pretensão da teoria econômica neoclássica de compreender os fenômenos reais por meio de um fetichismo monetário. Para Georgescu-Roegen (1971, p. 218), “*economics cannot abandon its commodity fetishism any more than physics can renounce its fetishism of elementary particle or chemistry can renounce that of molecule*”.

A ciência econômica, pois, com análises cartesianas e mecânicas que consideram a racionalidade perfeita dos agentes econômicos e com foco na individualização das análises e de tratamento de soluções particulares aos problemas que surgem, não é capaz de lidar com o contexto do Antropoceno. Este ambiente de mudanças climáticas, de deterioração da biodiversidade e do capital natural de modo geral, com aumento da desigualdade social apesar de toda afluência material alcançada, exacerba a necessidade de busca de um entendimento holístico, complexo e dinâmico das relações entre a economia e o meio socioambiental. Entender tais relações e as restrições e oportunidades que daí surgem só se faz possível a partir do pensamento sistêmico, berço do qual surgem vertentes teóricas como a economia ecológica, a economia institucional e, das intersecções entre estas, a economia evolucionária.

Pretende-se, neste tópico, apresentar as principais características do pensamento sistêmico que servem como fundamentos para o desenvolvimento destas escolas de pensamento. Para tanto, serão utilizados, em especial, o trabalho de Capra e Jackobsen (2017) e Hester e Adams (2013). No entanto, a abordagem conceitual da visão sistêmica estará presente em todo o ensaio, sendo aqui definidos os principais conceitos que a distinguem da visão mecanicista e do porquê ser importante esta mudança de concepção para se compreender o verdadeiro sentido de sustentabilidade em suas várias dimensões. Admitir inicialmente que há relações o desempenho econômico e performance ambiental traz implícito o reconhecimento de que ambos os sistemas (econômico e natural) se relacionam mutuamente nas escalas espacial e temporalmente. É preciso, pois, definir os marcos a partir dos quais tal relação será enquadrada.

Capra e Jackobsen estruturam a noção de pensamento sistêmico a partir da perspectiva de Whitehead (1967) sobre o *organismo*, de que uma visão bem-sucedida do mundo precisa ser capaz de interpretar os complexos tecidos da natureza e da sociedade a partir do olhar sistêmico, ou seja, que analisa as conexões, inter-relações e interdependência entre os agentes. É necessário entender os sistemas social, econômico e ambiental a partir de uma abordagem transdisciplinar integradora das contribuições científicas de diversas disciplinas assim como as

de política e de tomadores de decisão, transcendendo os limites disciplinares de modo a jogar luz à dinâmica de todo o sistema de forma holística (HESTER e ADAMS, 2013). Portanto, é necessário se reconstruir as bases da economia a partir de profundo conhecimento da realidade e da dinâmica intrinsecamente complexa de funcionamento e relacionamento dos sistemas que a compõem.

Capra e Jackobsen (2017) defendem que a visão sistêmica surge a partir das seguintes ideias fundamentais: complexidade, redes de relacionamento e padrões de organização, todas estas baseadas na realidade contextual. A visão orgânica, que substitui a mecânica (de pensamento linear, individualizado, e de recursos ilimitados), descreve o mundo material como uma rede de padrões de relacionamento inseparáveis, em que o planeta como um todo é um sistema vivo e autorregulado, composto por ecossistemas que sua vez contêm os subsistemas sociedade e a economia (conjuntamente chamada biosfera, ou Gaia, na concepção de James Lovelock⁴). Neste íterim, a evolução é entendida para além das noções de seleção e competição, mas de cooperação e dependência mútua entre todos os agentes, em que a criatividade e constante emergência de novidades são forças motoras do desenvolvimento, havendo também espaço, em pontos críticos de instabilidade, para o surgimento de novas ordens espontâneas não previsíveis.

Os sistemas vivos são “todos” integrados caracterizados por suas relações, sendo suas propriedades diferentes daquelas das partes menores. Muda-se, desta forma, de perspectiva: das partes para o todo. Estas conexões dinâmicas entre as partes fazem surgir propriedades essenciais dos sistemas, como as relações de produção, consumo e apropriação de riqueza, a partir do conjunto de valores, cultura, etc., ou seja, instituições, tudo isto refletindo a forma de lidar da sociedade com o meio biofísico em que está inserida. Todo organismo, inclusive o sistema econômico, é constituído de conexões com outros organismos. Estes organismos vivos estão ligados de maneira umbilical a processos metabólicos e dinâmicos⁵.

Para lidar com esta rede de relacionamentos é fundamental que o foco seja ajustado de medidas quantitativas para o mapeamento de padrões de relacionamentos e comportamentos, caminhando-se para um tipo de análise mormente qualitativa. De fato, a clara inspiração

⁴ Em linhas gerais, sob a Teoria de Gaia, a Terra seria observado a partir de uma perspectiva ecológica profunda, em que todos os organismos e componentes vivos e não-vivos estão interligados, e se desenvolvem de maneira interdependente, e em que os ciclos biogeoquímicos buscam alcançar a homeostase, de forma que a Terra seria um mega organismo vivo e em constante processo evolutivo.

⁵ Uma perspectiva metabólica demanda considerações sobre as leis da termodinâmica e, em especial, da lei da entropia. Ainda neste ensaio estes temas serão apropriadamente detalhados.

schumpeteriana de Georgescu-Roegen o credencia para afirmar com propriedade que “*the obvious truth, however, is that economic system continuously change qualitatively. [...] The most important aspect of the economic process is precisely the continuous emerge of novelty* (GEORGESCU-ROEGEN, 1979, p. 321, ênfase no original). Dado este atributo inerente ao sistema econômico e a outros sistemas complexos – as mudanças qualitativas permanentes –, este autor afirma não ser possível compreendê-los somente a partir de modelos analíticos quantitativos, sendo necessário o auxílio de raciocínios dialéticos.

A visão sistêmica da vida mostra que todos sistemas vivos compartilham um conjunto de propriedades comuns e de princípios de organização. Aqui, Capra e Jackobsen (2017) chamam de os quatro princípios da vida, quais sejam:

- i) *Sistemas aninhados*: o padrão básico de organização é a rede de relacionamentos, que é um padrão particular de relacionamentos e interconexões entre os sistemas. Aqui encontra-se a noção de que o sistema econômico é entendido como subsistema da biosfera, que lhe apresenta limites biofísicos;
- ii) *Redes de relacionamento autogeradas*: as relações entre os organismos são marcadas por contínuas mudanças estruturais enquanto preservam os padrões de organização, buscando a estabilidade e desenvolvimento cooperativo;
- iii) *Sistemas abertos*: os sistemas vivos operam longe do equilíbrio termodinâmico, realizando trocas de matéria e energia com o sistema que o detém, aumentando sua entropia por meio de seu metabolismo. Assim como o corpo humano, o sistema econômico é um sistema aberto e heterótrofo. Há aqui uma diferença importante da espécie humana, que é a única de natureza exossomática⁶, pois utiliza instrumentos externos ao seu próprio corpo (energia fóssil, por exemplo) que aumentam significativamente seu potencial metabólico e, portanto, sua capacidade de perturbar o meio em que está inserido, seja do ponto de vista quantitativo (maiores taxas de extração de recursos) ou qualitativo (emissão de resíduos além da capacidade natural de absorção do ambiente);

⁶ A diferença entre instrumentos endossomáticos e exossomáticos é importante para se compreender o gradiente de insustentabilidade potencial que pode ser atingido por uma determinada sociedade. Vale aqui reproduzir as palavras de Georgescu-Roegen (1975, 369): “*apart from a few insignificant exceptions, all species other than man use only endosomatic instrument – as Alfred Lotka proposed to call those instruments (legs, claws, wings, etc.) which belong to the individual organism by birth. Man alone came, in time, to use a club, which does not belong to him by birth, but which extended his endosomatic arm and increased its power. At that point in time, man's evolution transcended the biological limits to include also (and primarily) the evolution of exosomatic instruments, i.e., of instruments produced by man but not belonging to his body. That is why man can now fly in the sky or swim under water even though his body has no wings, no fins, and no gills.*”

iv) Interações cognitivas: os sistemas vivos interagem de maneira cognitiva com seu ambiente de modo que são determinados por sua própria organização interna. Aqui está presente a importância dos valores e da ética no relacionamento do sistema econômico com a biosfera, pois desta relação surgem questões como a justiça, a equidade, ou seja, avaliação de variáveis qualitativas sobre o bem-estar humano e, para além disto, do meio ambiente.

Destes princípios surgem conceitos importantes para a economia ecológica, como cooperação, sinergia e resiliência, que serão abordados no decorrer deste ensaio. Ao analisarem o desenvolvimento do setor de tecnologia da informação, Hester e Adams (2013) argumentam que a era do pensamento mecanicista deu lugar à do pensamento sistêmico e elaboram uma síntese comparativa das diferenças entre estas visões (Quadro 1.1). Dada a noção de racionalidade limitada dos agentes, estes precisam buscar comportamentos rotineiros que trabalhem com informações limitadas e simplificadas para se alcançar resultados aceitáveis, *satisfatórios*, sendo que a busca pela estratégia ótima, maximizando o resultado, se torna inviável pela incompletude informacional e de capacidade de raciocínio e interpretação humana, tida como uma limitação ambiental. Esta noção de racionalidade limitada (SIMON, 1957) é fundamental na concepção do pensamento sistêmico.

Quadro 1.1 – Síntese comparativa entre os pensamentos mecanicista e sistêmico

	Pensamento mecanicista	Pensamento sistêmico
Era	Máquina	Sistemas
Unidade de análise	Problema individual	“ <i>Mess</i> ” (sistema de problemas)
Critério de alcance	Otimização	Satisfação
Objetivo	Solução de problema	Melhor entendimento
Filosofia de base	Reduccionismo	Construtivismo
Epistemologia	Análise	Síntese
Escopo disciplinar	Multidisciplinaridade e interdisciplinaridade	Transdisciplinaridade
Abordagem	Prescritiva	Exploratória

Fonte: traduzido de Hester e Adams (2013).

A perspectiva da economia ecológica parte da visão sistêmica e noção de funcionamento relacionado à biologia darwiniana. Exemplos dentre os expoentes desta escola são Nicolas Georgescu-Roegen, Robert Costanza, Herman Daly e Phillip Lawn. Esta corrente de pensamento vê o sistema econômico (material e energeticamente aberto) contido e delimitado pelo conjunto de ecossistemas da biosfera (materialmente fechado) que o provê dos elementos essenciais para a geração de renda e riqueza (MUELLER, 2007). Longe de ser trivial, esta visão pré-analítica da economia ecológica desdobra-se em importantes mudanças metodológicas e epistêmicas. Em primeiro lugar, remete à noção de sistemas aninhados, já mencionada anteriormente. Em segundo lugar, tal visão pré-analítica é importante no sentido de que a expansão do sistema “interior” (o sistema econômico) deve ser monitorada de modo a não comprometer a sustentabilidade e capacidade de suporte do sistema “exterior” (o meio ambiente).

A perspectiva econômico-ecológica requer o distanciamento da visão mecanicista de mundo, uma vez que a ideia de sistemas aninhados não permite interpretar a realidade concreta a partir do funcionamento isolado de cada sistema. Tem-se aqui a primeira ruptura epistêmica importante em relação ao pensamento econômico tradicional. Do ponto de vista metodológico, é nítida a necessidade de foco maior na *natureza* das relações estabelecidas entre os sistemas, o que certamente recoloca em novas bases a compreensão dos sistemas econômicos. O fetichismo monetário, tal como aventado por Georgescu-Roegen (1971), é insuficiente para lidar com toda a complexidade do tecido econômico-ecológico.

Um exemplo prático advém do tradicional problema do crescimento econômico. Na concepção mecânica do pensamento econômico tradicional não há limites relevantes: os fenômenos são reversíveis e/ou a matéria e energia podem ser reutilizadas indefinidamente (MUELLER, 2007). Todavia, em uma concepção econômico-ecológica, a noção de crescimento econômico deve levar em consideração, essencialmente, os benefícios e os custos ambientais e sociais derivados do progresso econômico. É possível, portanto, se pensar em “*crescimento deseconômico (ou não econômico)*”, momento a partir do qual a geração de riqueza a partir dos círculos de produção, distribuição e consumo leva ao meio ambiente degradação tamanha que impossibilita a sustentabilidade do padrão de desenvolvimento para as futuras gerações, comprometendo os fundamentos do progresso econômico e a organização das instituições sociais (DALY, 1991).

Toda produção econômica gera ao meio ambiente algum grau de impacto, dada a Lei da Entropia, ao meio ambiente. Este é o processo metabólico de um sistema vivo. Os circuitos de produção, consumo e distribuição de renda e riqueza perpassam pela retirada de matéria e energia de boa qualidade (baixa entropia) – como os recursos pesqueiros e florestais e os diversos combustíveis renováveis e não renováveis – e devolução ao meio ambiente de matéria e energia de baixa qualidade (elevada entropia). Para o romeno Georgescu-Roegen, esta é a essência do processo econômico: um processo transformador de baixa entropia em alta entropia com o propósito de criação de um fluxo psíquico de “gozo da vida” (*enjoyment of life*).

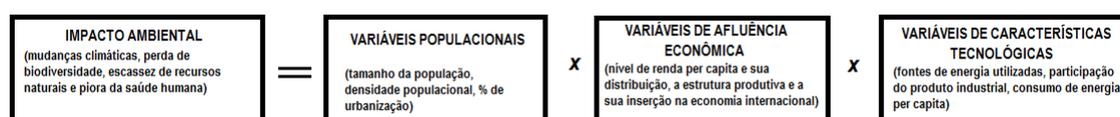
Neste sentido, sendo o sistema econômico estritamente dependente e contido num sistema maior e materialmente finito, as mudanças qualitativas daquele (desenvolvimento econômico) devem ser analisadas pela ótica de sua sustentabilidade ambiental ao longo das futuras gerações (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Isto porque “*one of the most important ecological problems for mankind, therefore, is the relationship of the quality of life of one generation with another – more specifically, the distribution of mankind's dowry among all generations*” (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 374). Nesta perspectiva, discussões ambientais não devem ser encaradas como uma especialidade da ciência econômica. Ao contrário, o tratamento do meio ambiente é parte inerente do amplo debate sobre desenvolvimento econômico.

Se o “dote” natural da humanidade, representado pelo conjunto das dádivas da natureza disponíveis à espécie humana, deve ser partilhado pelas gerações atual e futura de maneira a que todas tenham acesso a um padrão de vida satisfatório, duas ordens de informação são requeridas: (i) qual o estado atual de uso deste patrimônio natural e (ii) quais os sacrifícios em termos de capital natural estão sendo realizados do ponto de vista das gerações vindouras. São questões não triviais que demandam análises que extrapolam os marcos convencionais. Isto porque a definição usual de economia a compreende como uma ciência de alocação de recursos escassos em uma *mesma* geração. Para além disso, a natureza intergeracional do desenvolvimento econômico remete a um princípio de solidariedade entre as gerações, que não se encontra presente na interpretação usual do *homo-economicus*.

Diante destas perguntas, uma categoria análise importante é a escala econômico-ecológica, a qual diz respeito ao transumo produzido pelos processos econômicos, ou seja, a soma de matéria e energia que são utilizadas e degradadas ao longo das cadeias de produção, distribuição e consumo da renda e da riqueza (DALY, 1991; LAWN, 2001). Esta escala é

diretamente relacionada com características populacionais (tamanho, e a forma como a população se distribui sobre um território, sendo mais/menos populoso), a afluência econômica (caracterizada, por exemplo, pelo nível de renda per capita e sua distribuição, a estrutura produtiva e a sua inserção na economia internacional) e características tecnológicas (por exemplo, fontes de energia utilizadas, participação do produto industrial, consumo de energia per capita, intensidade energética do produto, etc.) (Figura 1.1). Partindo-se da noção de finitude dos recursos naturais sobre os quais o sistema econômico é constituído, é essencial, portanto, observar o tamanho e a qualidade da escala ambiental de cada economia para avaliar a sustentabilidade do seu estilo de desenvolvimento econômico (MALGHAN, 2006).

Figura 1.1: Identidade de Paul Ehrlich – Principais *drivers* da escala econômico-ecológica



Fonte: elaboração própria.

Os economistas ecológicos defendem uma “epistemologia evolucionista”, em que o sistema econômico e a ecossfera são visos como organismos vivos e auto-organizados, complexos e que coevoluem ao longo do tempo (BOULDING, 1966; GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Compreender a dinâmica e a natureza das relações estabelecidas entre estes dois sistemas, seus efeitos de *feedback* e impactos mútuos é o objeto de estudo da economia ecológica, para quem a grande pergunta que deve ser respondida é: *como viver bem em um mundo finito em paz e sem combinações destrutivas* (DALY, 1984).

A economia ecológica parte de um ponto que lhe é basilar: o da hipótese ambiental aprofundada. Nesta ótica, os ecossistemas apresentam características de complexidade que são resultadas de processos evolutivos e coevolutivos, com interligações entre os elementos que são singulares e, por isso, de custosa ou, muitas vezes, impossível imitação por meio de recursos tecnologicamente desenvolvidos. Sistemas complexos têm a característica de grande variedade de elementos, que estão interligados e produzem *feedbacks* entre si. Reconhece-se a instabilidade, multidimensionalidade e complexidade crescente dos sistemas naturais e sociais, como o meio ambiente, a tecnologia, população e cultura (NORGAARD, 1984; KALLIS e

NORGAARD, 2010). Todos estes elementos são vistos em termos de sua conexão a um equilíbrio dinâmico, em que a mudança em um dos sistemas requer adaptação dos outros (AMAZONAS, 2002).

A riqueza e as funções desempenhadas pelos serviços ecossistêmicos, que se tornam valiosos para o funcionamento econômico por gerarem benefícios diretos e/ou indiretos captados pela sociedade – por exemplo, o de sequestro de carbono da atmosfera, os relacionados aos ciclos hídricos, e aqueles gerados a partir da biodiversidade – não podem ser substituídos por capital produzido pelo homem de maneira satisfatória e custo-efetiva (COSTANZA *et al.*, 1997; ASSESSMENT, 2005). Portanto, a depleção do capital natural se torna extremamente nociva para a sustentabilidade do progresso socioeconômico, visto ser a base sobre a qual os capitais social, humano, produtivo e financeiro são acumulados.

Capra e Jackobsen (2017) defendem que o sistema econômico, a partir de uma ótica econômico-ecológica, deve ser reestruturado e gerido de modo a contribuir com o desenvolvimento de sociedades viáveis dentro dos limites de resiliência ecológica. Em outras palavras, ao invés de dominar a natureza, a economia deve servi-la, integrando-se à rede de relacionamentos orgânica da realidade. Os autores destacam a necessidade de modelos holísticos de pesquisa baseados na transdisciplinaridade para que se possa compreender as interconexões dinâmicas no mundo real. Para tanto, é necessário ir além de modelos matemáticos abstratos e que estão distantes da teia da vida, como o PIB, mas agregar indicadores qualitativos tais como pobreza, saúde, equidade, educação inclusão social e de meio ambiente. É peremptória a inclusão de um *framework* ética no contexto da cooperação entre os sistemas vivos, pois a prosperidade econômica só pode ser buscada com o respeito à dignidade e direitos humanos, e à habilidade inerente dos ecossistemas de sustentar a vida.

Capra e Jackobsen (2017) ainda destacam a importância da diversidade e da individualidade para o bom funcionamento dos sistemas dentro de um organismo. Neste sentido, criticam a homogeneização cultural e econômica do fenômeno da globalização, e defendem que a base do desenvolvimento econômico deve estar na economia prática, fortalecendo-se as redes de relacionamento locais e regionais, aumentando a resiliência das populações. O desenvolvimento deve ser visto como resultado de crescimento qualitativo, ou seja, de conhecimento e de capacidades, para que, no sentido “seniano”, os indivíduos tenham a liberdade de realizar escolhas de maneira justa dentro do tecido social (KANG, 2011).

Holling (2001) diz que as hierarquias e ciclos adaptativos compreendem a base dos ecossistemas e dos sistemas socioecológicos através das escalas. Em conjunto, eles formam uma “panarquia”, que descreve como um sistema saudável pode inventar e experimentar, beneficiando-se de invenções que criam oportunidades enquanto se mantém a salvo daquelas com potencial desestabilizador devido a sua natureza ou excessiva exuberância. “Panarquia” explica a natureza evolutiva de sistemas adaptativos complexos, sendo a estrutura hierárquica composta pelos sistemas da natureza, os humanos, assim como os sistemas formados conjuntamente por coevolução. *A noção de sustentabilidade é a capacidade de criar, testar e manter capacidade adaptativa, enquanto desenvolvimento é um processo de criação, testagem e manutenção de oportunidades* (HOLLING, 2001).

O desenvolvimento sustentável é um processo evolucionário, e se um ciclo adaptativo colapsa devido à erradicação de potencial e diversidade por meio de mal-uso ou devido a choques externos, um estado de empobrecimento é gerado, com baixa conectividade e potencial, e baixa resiliência, criando uma “armadilha da pobreza”. Esta condição, então, propaga-se por meio dos níveis e escalas da “panarquia”, colapsando sistemas por onde passa (HOLLING, 2001). Duas populações ou sistemas coevolvem se, e somente se, ambos têm um impacto causal significativo na habilidade de persistir do outro, seja por meio da alteração de critérios de seleção ou pela mudança da capacidade replicativa de entidades individuais (FOXON *et al.*, 2013).

Para Holling (2001), os sistemas humanos se distinguem dos naturais em três características que mudam o caráter e a localização da variabilidade que podem afetar drasticamente – seja para melhoria ou piora – o potencial das “panarquias”: previsão e intencionalidade, capacidade de comunicação e aumento de conhecimento e tecnologia. Com isto, o homem passa a dominar e controlar os ciclos adaptativos, podendo atuar em escalas elevadíssimas desde o nível submicroscópico até o global, e ir até mesmo para além da Terra.

As noções de auto-organização, de diversidade e de aprendizado adaptativo são muito caras à análise econômico-ecológica. A auto-organização caracteriza o desenvolvimento de sistemas adaptativos complexos, em que múltiplos resultados tipicamente são possíveis a depender de choques externos ou da ação antrópica. A evolução é um processo que ocorre sobre a variabilidade que é gerada por processos de auto-organização. Já a diversidade e a individualidade dos componentes, interações locais entre estes, e processos autônomos que utilizam os resultados de tais interações locais para seleção de um subconjunto daqueles

componentes para melhoramento são características de sistemas adaptativos complexos (HOLLING, 2001; FOSTER, 2005; RAINE *et al.*, 2006).

Uma estratégia de promoção da diversidade é geralmente efetiva na promoção de estabilidade, resiliência, durabilidade e robustez de sistemas. Por exemplo, um conjunto de tecnologias energéticas mais sustentáveis terá maior diversidade, o que traz maior independência em relação a choques externos de preços e indisponibilidade momentânea em algum combustível específico, sendo a complementaridade advinda da diversidade uma forte característica que propulsiona o sistema (FOXON *et al.*, 2013).

1.3 Complexidade e desenvolvimento: as perspectivas institucionalista e evolucionária e o papel das transformações estruturais

O objetivo desta seção é investigar os desdobramentos da visão sistêmica e econômico-ecológica sobre a ciência econômica. Como ponto de partida para a discussão, reconhece-se que as perspectivas institucional e evolucionista são exemplos de escolas de pensamento que dialogam com a economia ecológica e fornecem um arcabouço de ideias e métodos condizentes com a visão sistêmica das relações entre economia, sociedade e meio ambiente. Ambas as escolas têm preocupação central não num objeto estático, na busca do ponto de equilíbrio, mas sim no fenômeno das mudanças e interações entre os agentes transformadores e o entendimento do papel das inovações, das disrupturas e do desenvolvimento econômico como um processo de mudança.

Por tais motivos, o prisma de análise institucional-evolucionário é indispensável para o debate dos problemas ambientais contemporâneos. Em sendo assim, abordar-se-á brevemente cada uma das escolas de pensamento, buscando dar destaque para as convergências entre os três aportes teóricos elencados neste ensaio (os enfoques econômico-ecológico, institucionalista e evolucionário) como pressupostos para uma compreensão menos reducionista das relações entre complexidade, economia e meio ambiente.

1.3.1 A escola institucionalista⁷

Aqui, tratar-se-á a escola institucionalista de forma mais genérica, abordando alguns dos principais aspectos que unem desde os velhos-institucionalistas (Veblen, Commons e Galbraith), os neoinstitucionalistas (por exemplo, Hodgson e Samuels) e pertencentes à Nova Escola Institucional (NEI). A vertente chamada evolucionária, que também se deriva do arcabouço institucionalista, será tratada na próxima subseção e de forma separada, dada a maior proximidade com a escola econômico-ecológica e da teoria da complexidade. Por fim, serão abordadas as ideias de dois autores institucionalistas cujas obras se tornaram destacadas pela interface com a abordagem econômico-ecológica e de proposição de políticas públicas.

Os institucionalistas, a partir da visão sistêmica da sociedade, adotam uma perspectiva holística para o funcionamento do sistema econômico e suas relações e interconexões com a esfera socioambiental, com ênfase nas instituições e na forma como evoluem, determinando trajetórias de desenvolvimento dos países. O conceito de instituição pode ser condensado, segundo Brue (2005, p. 367), no “padrão organizado de comportamento grupal, bem estabelecido e aceito como parte fundamental da cultura”, significando o conjunto de regras formais (por exemplo, direito, legislação, padrão monetário, normas de convívio) e informais/tácitas (valores, cultura, hábitos, costumes, crenças) que governam o comportamento econômico e político dos agentes (indivíduos, firmas, governo, etc.). North (1990) as resume na expressão “regras do jogo”, apontando que são resultado da interação de poder de barganha entre os estratos sociais por meio de seus grupos representantes, ou seja, são produto da correlação de forças e de interesses representados socialmente, seja no âmbito político, na administração pública, no ambiente de negócios, ou na sociedade civil. O mercado, neste sentido, é apenas uma instituição entre outros arranjos na sociedade que compõem a organização e o controle do sistema econômico, objeto principal de análise desta escola de pensamento.

A metodologia de abordagem se caracteriza, principalmente, pela análise da trajetória histórica e por instrumentos qualitativos. Um conjunto grande de variáveis explicativas, para além da dinâmica de preços como produto das interações mercadológicas, é utilizado para compreender as questões econômicas do ponto de vista da dinâmica da mudança institucional. O sistema econômico é fundamentalmente um organismo complexo, que deve ser analisado em

⁷ Ambas as análises da escola institucionalista e dos evolucionários são baseadas em Simões (2014).

seu espaço institucional, ou seja, o ambiente em que o sistema econômico está inserido e que se relaciona com as especificidades da sociedade e do meio ambiente local. Assim como defendido pela abordagem sistêmica, o foco está na dinâmica de mudança e na rede de relacionamentos derivada das relações dentro e entre as instituições.

Por fim, uma ideia fundamental que em muito está fundamentada no pensamento sistêmico é do processo de causação cumulativa, cara à escola neoinstitucionalista. Nesta perspectiva de economia como um sistema complexo e que deve ser observado de forma holística a partir de sua organização e formas de controle, a renda agregada e sua distribuição decorrem da interação de instituições sociais de poder, cujos impactos se retroalimentam, gerando trajetórias de dependência (*path dependence*). As decisões pretéritas importam essencialmente visto que determinam as vias de desenvolvimento numa espiral de cumulatividade segundo as idiossincrasias institucionais de cada sociedade, que determinam o processo de (sub)desenvolvimento das nações. Portanto, não há um modelo padrão de desenvolvimento que deve ser imposto a todos os países, mas uma diversidade e individualidade de processos que seguem pontos de partida e tomadas de decisões singulares de acordo com a conformação histórica dos países (BRUE, 2005).

Em sua vertente ambiental, para Elinor Ostrom, laureada pelo Prêmio Nobel de Economia de 2009 junto a Oliver Williamson, a análise institucional é especialmente relevante para se entender os mecanismos de gestão dos bens comuns (“*common-pool resources*”), como recursos pesqueiros, bacias hidrográficas, e recursos florestais. Esta categoria de bens apresenta a característica de serem bens de uso rival, mas não excludentes, visto que não é determinada a propriedade privada, mas o uso por um indivíduo diminui o estoque para o uso da comunidade. Ostrom (1990) demonstra que há inúmeros casos de sucesso em que o chamado equilíbrio de Nash para uma comunidade é a gestão comum dos recursos, estruturadas, gerenciadas e fiscalizadas a partir dos próprios membros usuários dos recursos, o que é capaz de manter e até aumentar a disponibilidade dos bens comuns ao mesmo tempo em que a sociedade prospera do ponto de vista econômico e de relações sociais. Sua análise é, portanto, contrária à tese da “Tragédia dos Comuns” de que só poderia ser possível a gestão destes bens a partir da privatização ou estatização dos recursos. Alternativamente, propõe-se o argumento de que é possível a manutenção da propriedade comunal pelo desenvolvimento e por meio de tentativa e erro e contínuo aperfeiçoamento institucional (governança coletiva).

Ostrom (1990) detectou que, para que haja boa gestão dos recursos, dentre vários outros fatores, é essencial que a correlação de forças entre os agentes – usuários e os líderes comunitários – seja justamente distribuída, e que eles se relacionem no sentido de formarem instituições sociais participativas em que os processos de decisão são democráticos. Em tais instituições os agentes veem seus interesses sendo justamente representados e atuam ativamente na elaboração, implementação e monitoramento do cumprimento das regras e normas estabelecidas conjuntamente. Assim, há solidificação da confiança entre os *stakeholders*, o que fortalece o desenho institucional de gestão.

Em trabalhos mais recentes – por exemplo Ostrom (2009) e Ostrom *et al.* (2007) –, a autora trabalha com o conceito de sistemas socioecológicos (SSEs), que são os ambientes complexos em que estão imersos todos os recursos usados pelo homem. Os SSEs são compostos por subsistemas múltiplos e suas variáveis internas em níveis múltiplos analogamente a organismos compostos por órgãos, órgãos compostos por tecidos, tecidos por células, células por proteínas, etc. Em um SSE complexo, subsistemas como um sistema de recursos (por exemplo, um pesqueiro costeiro), unidades de recursos (lagostas), usuários (pescadores), e sistemas de governança (organizações e regras que governam a pesca naquela costa) são relativamente separados, mas interagem para produzirem resultados no nível do SSE, que por sua vez tem efeito de retroalimentação para afetar estes subsistemas e seus componentes, assim como outros SSEs maiores ou menores (OSTROM, 2009, p.419). Nestes sistemas, não se deve buscar isolar as variáveis e analisá-las separadamente; pelo contrário, é necessário conhecimento sobre cada variável específica e como suas partes componentes interagem entre si. Este *framework* deve ser, portanto, abrangente e aprofundado o suficiente para o estudo dos SSEs, organizando variáveis relevantes identificadas em pesquisa teórica e prática.

Outro distinto autor nesta interface institucional-ecológica é Arild Vatn, que tem auxiliado na proposição de uma agenda de pesquisa institucional para a consecução da sustentabilidade na vida econômica real. Vatn (2020) afirma que o reconhecimento dos limites físicos para o desenvolvimento econômico impõe um peso maior para a ampliação da base institucional de análise, colocando a questão da distribuição no centro da discussão, visto que o processo de “*catching-up*” por meio do crescimento econômico se torna uma estratégia inviável para o sistema econômico como um todo. Para tanto, é essencial entender de forma mais aprofundada o papel das instituições no direcionamento das ações humanas. Também deve ser dada maior ênfase para os processos políticos que ditam as transformações institucionais

essenciais para se adequar o sistema econômico ao ambiente do Antropoceno com todos os desafios sociais e ambientais que se apresentam.

Os processos econômicos (produção, consumo, distribuição, acumulação) usam recursos ambientais. Quais recursos e como são usados depende de suas características, das instituições em questão, bem como da tecnologia disponível. O objetivo do uso dos recursos é a produção de renda, que pode ser feita de forma mais ou menos sustentável. Outra questão tão central quanto a sua geração é a da distribuição desta renda. Os valores que caracterizam a sociedade civil e os processos políticos são influenciados por estruturas sociais que são estabelecidas – por exemplo, como a responsabilidade é definida e o que significa ser um bom cidadão ou político reconhecido (VATN, 2020). O autor destaca que o progresso econômico ocorrido nos últimos séculos – que pressiona os limites biofísicos que sustentam a vida no planeta com um padrão de consumo altamente intensivo em recursos naturais – trouxe também desigualdades sociais inconcebíveis. Este cenário se torna mais grave quando se observa que elevados níveis de desigualdade apresentam correlação positiva com a degradação ambiental (RAWORTH, 2019; HARTMANN *et al.*, 2017).

A sociedade no século XXI se vê refém de dois tipos diferentes de “*lock-in*”: (i) o de investimentos em tecnologias baseadas nos combustíveis fósseis, e (ii) o político por meio de defesa da rentabilidade dos referidos investimentos via *lobby* e de campanhas “desinformativas”, que vão de encontro às evidências científicas e negam a gravidade – e muitas vezes, a existência – de prejuízos ambientais derivados da emissão de gases de efeito estufa. Assim, a trajetória histórica e econômica tem atrasado sobremaneira as tomadas de decisões de política e corporativas a fim de adaptar o sistema econômico à emergência das mudanças climáticas e degradação dos ecossistemas.

Discute-se a necessidade de um “*Green New Deal*”, na promoção da transição energética, material, de empregos e de renda numa base mais sustentável e condizente com a ética intergeracional, mas Vatn (2020) destaca que esta transição demanda muito além de tecnologias apropriadas e custo-efetivas. São essenciais, ao mesmo tempo, um forte engajamento público no âmbito nacional e principalmente multilateral. É preciso ir além do “*decoupling*”⁸ carbônico e da redução da pegada material, mudando-se a perspectiva de

⁸ UNEP (2011) conceitua o decoupling como sendo a redução – absoluta ou relativa – do montante de recursos naturais utilizados para gerar crescimento econômico e a desconexão do desenvolvimento econômico da degradação ambiental. Este conceito será retomado de forma aprofundada no Ensaio 2, e será fundamental para avaliar a relação entre desenvolvimento econômico e performance ambiental.

viabilidade dos investimentos privados para além do lucro, reconhecendo-se que o crescimento econômico nem sempre garante o progresso da sociedade. Neste ambiente, o desenvolvimento de estratégias de erradicação da pobreza, dentro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, deve ser buscado de forma que fortaleça a resiliência dos ecossistemas, e não sua depleção. Vatn (2020, p.3) defende que

“While many believe technological change is the solution, we realize from the above that we must start working seriously also on changing our political and economic institutions. They form the way we decide, make us invest, influence how we produce and why and what we consume”.

Para conseguir incorporar definitivamente os compromissos com a sustentabilidade, as nações devem assumir compromissos legais com obrigações de longo prazo com o respeito à capacidade de os ecossistemas proverem às futuras gerações um ambiente adequado para subsistirem, e desenvolvimento de níveis legislativos que sejam capazes de regular a atuação política de curto prazo e salvaguardar os compromissos ambientais. Por outro lado, no sistema econômico, tanto as firmas quanto as políticas ambientais devem ser reestruturadas para conseguirem lidar com a noção de limites biofísicos, incorporando a participação da sociedade civil na definição dos objetivos empresariais e de políticas públicas, partindo do respeito ao Princípio da Precaução⁹, da resiliência ecossistêmica e do ambiente de complexidades. A geração de valor e a gestão dos recursos naturais devem estar baseadas na geração de lucro com a restrição fundamental da promoção de justiça social e de fortalecimento e recuperação das funcionalidades ecossistêmicas.

1.3.2 A escola evolucionária

Os evolucionários partem de um ponto de vista microeconômico, tendo na firma o principal ator de transformação da economia. As instituições não estão no centro da análise, mas são elementos inseparáveis do processo dinâmico de crescimento e de mudança tecnológica. No entanto, tais instituições são tidas como a unidade de análise, pois “possibilitam o pensamento e a ação regulares por impor forma e consistência às atividades dos seres

⁹ O Princípio da Precaução reside justamente no respeito ao incerto. Em não se sabendo os possíveis prejuízos decorrentes de determinado plano de ação, que sejam respeitados os limites seguros até os quais se deve ir na degradação de recursos e que se adequem os modelos de desenvolvimento e as estruturas produtivas para lidar com a escala ambiental compatível à resiliência ecossistêmica (DALY, 1991; ARROW et al., 1995; ROCKSTRÖM et al., 2009; MAY, 2011).

humanos” (HODGSON, 1993, p.253). Aqui o sistema econômico também é compreendido como um sistema aberto, em que as mudanças são explicadas pela geração de variedade institucional intencional por meio da busca da diferenciação pelas inovações – que determinam, no longo prazo, o sucesso das firmas – e a seleção dessas variações pelo processo de competição econômica. Há também uma preocupação mais sistemática com a análise do ambiente externo em que os agentes operam, tendo em vista o surgimento de oportunidades e, principalmente, de riscos predatórios à sua subsistência.

A economia evolucionária surge abordando a realidade de forma holística, sistêmica e evolucionária. Assim, conforme Freeman (1988), o sistema socioeconômico sob investigação é concebido como estando sempre em um estado de fluxo e mudança qualitativa, na medida em que seus elementos constitutivos alteram seu comportamento em relação aos demais e ao ambiente extra sistêmico. Refutando a tese mecanicista de busca de equilíbrio e de processos reversíveis, a ótica evolucionista determina que as inovações podem levar a mudanças estruturais no sistema econômico, que encontra um novo ponto de quase-equilíbrio, que constitui o processo de desenvolvimento econômico.

Conforme Cerqueira (2002), as principais fontes em que a abordagem evolucionista se inspirou para conformar seu arcabouço teórico analítico foram:

- (a) Veblen e Schumpeter: o processo de desenvolvimento tecnológico entendido como metáfora da evolução darwiniana, com processos de mudanças qualitativas como característica do desenvolvimento econômico movido pelas inovações, ou seja, novas formas de combinar os meios de produção disponíveis;
- (b) Pesquisa em biologia e ecologia: conceitos como competição, comensalismo, curva de aprendizagem e de apropriação do conhecimento, noção de mudanças qualitativas irreversíveis e consideração do sistema econômico a partir de sua complexidade, que envolve estruturas e causalidades entrelaçadas que dirigem seu processo evolutivo;
- (c) Física e química contemporânea: termodinâmica e funcionamento distante do equilíbrio, teoria dos sistemas complexos e noção de ponto crítico, quando um sistema é perturbado até o ponto em que torna instável e novas soluções emergem (e que não podem ser estabelecidas *a priori*, surgindo novos padrões, entendendo, portanto, o sistema econômico como dinâmico e não linear); e

- (d) Comportamento das firmas e organizações: ênfase na natureza imperfeita/limitada do conhecimento, incerteza fundamental, satisfação de objetivos e metas ao invés de maximização de lucros, estabelecimento de rotinas e regras de decisão.

Os trabalhos de Schumpeter são decisivos para esta escola de pensamento. Para este autor, a principal premissa é a importância das inovações e mudanças tecnológicas dentro da ideia de desenvolvimento econômico enquanto um processo movido pela “destruição criativa” de novas formas de produção e de mercadorias e serviços. O capitalismo possui natureza fundamentalmente evolutiva e esse caráter é dado pela constante busca de introdução de inovação. Portanto, o processo concorrencial da economia real relevante é o que se dá pela inovação, e não pelos preços. Daí decorrem as práticas de defesa de contratos de longo prazo com clientes e fornecedores e de instituição das patentes, sendo a existência de estruturas monopolistas resultado do processo concorrencial (SCHUMPETER, 1982).

Estas inovações, quando difundidas pela economia, levam a mudanças da estrutura produtiva e, portanto, a ciclos econômicos distintos. É importante lembrar a relevância das inovações enquanto mediadoras das relações entre sistema econômico e natureza, uma vez que o surgimento de inovações “poupadoras” de meio ambiente pode impactar decisivamente a trajetória dos impactos ambientais causados pelo sistema econômico. Em sendo assim, qualquer análise das conexões existentes entre desempenho econômico e performance ambiental não deve prescindir de considerações sobre o padrão/esforço inovativo de uma determinada sociedade. Aqui se reconhece, portanto, a importância fundamental de se considerar a complexidade econômica como um importante condicionante do desempenho ambiental, o que vem se caracterizando como uma frente de pesquisa emergente para economistas em geral e ecológicos, em particular.

O ambiente econômico é fortemente marcado pela ideia de cumulatividade de conhecimento, *path dependence*, empresas heterogêneas e que se adaptam de formas diferentes de acordo com as mudanças ambientais, processos de *spillovers* com retornos crescentes dinâmicos a partir de inovações e mudanças tecnológicas, existência de pontos de equilíbrio dinâmico e processos adaptativos, evolutivos e coevolutivos, em que o sistema econômico funciona de modo bastante semelhante à biologia darwiniana.

Para Van der Bergh e Gowdy (2000, p.38), o conceito de evolução pode ser caracterizado como “desequilíbrio e mudança qualitativa (estrutural) que é irreversível e imprevisível, podendo ser gradual ou radical. É baseada em diversidade (variação) em nível

micro, e seleção e tendências em nível macro e choques (“acidentes em larga escala”). O ambiente econômico está imerso em mudanças desequilibradas, pois o processo constante de evolução torna impossível a manutenção de qualquer ponto de equilíbrio. Por outro lado, há sucessão de longos períodos em que o sistema não sofre grandes mudanças e curtos períodos de disrupção, nos quais “mutações” (inovações) ou “eventos externos” (crises) provocam mudanças estruturais na economia. Tais mudanças são sustentadas, irreversíveis e imprevisíveis, dadas as considerações de incerteza ambiental, *path dependence* e tempo histórico.

No que tange ao processo de desenvolvimento econômico, os evolucionários enfatizam a importância dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento e formação de redes de conhecimento para fortalecer os tecidos produtivos de maior valor agregado, propulsionando, via instrumentos de política industrial, a participação destes produtos na pauta de exportação do país, aumentando a competitividade de sua economia e o potencial de crescimento de longo prazo (NELSON e WINTER, 1982).

No âmbito da discussão da sustentabilidade, os argumentos de Kenneth Boulding e Nicolas Georgescu-Roegen, dois dos fundadores da corrente econômico-ecológica, são permeados pelo pensamento evolucionário. Tanto Boulding quanto Georgescu-Roegen focam a discussão sobre a escassez de fontes disponíveis de recursos ambientais – em especial, energéticos – para a manutenção do desenvolvimento econômico da humanidade. Ambos apontam para a crescente escassez de energia acessível de baixa entropia, estocada na forma de capital energético, visão esta que ganhou proeminência no contexto de crise do petróleo na década de 1970.

Kenneth Boulding, em seu trabalho “*The economics of the coming spaceship earth*”, (BOULDING, 1966), parte de uma perspectiva evolucionária da humanidade frente ao sistema biofísico com o qual se relaciona. Nas palavras de Amazonas (2002, p.199), “o autor estabelece um marco para o conjunto dos autores que se sucederam e para a conformação posterior da economia ecológica, uma vez que ali já delineia de forma articulada o conjunto de questões que conformaram a agenda” desta escola de pensamento. Neste trabalho, Boulding chama atenção para a necessidade de deixar de lado

“a economia do *cowboy* – economia da fronteira, que não acredita em limitações de recursos naturais – em favor da economia do *astronauta* – que reconhece como absolutamente prioritário, para assegurar a sobrevivência da “espaçonave Terra”, um manejo prudente de recursos naturais.” (MUELLER, 2007, p.498-499).

No entanto, Boulding tem uma visão esperançosa de que, apesar de o sistema econômico aumentar a entropia do sistema, a sustentabilidade seria possível por meio da recriação de potencial que vai esgotando. Há, porém, a possibilidade de que quando a humanidade descobrir uma forma de recriar este potencial energético, a degradação entrópica – causada pelo uso perdulário de fontes de baixa entropia – seja tamanha que tal recriação não faça mais sentido (CECHIN, 2008; MUELLER, 2007).

Por sua vez, Nicolas Georgescu-Roegen também parte de uma perspectiva evolucionista para analisar o funcionamento do sistema econômico frente à escassez de fontes energéticas para seu abastecimento (CECHIN; VEIGA, 2010). Ademais, ele é pessimista em suas conclusões sobre a possibilidade de sustentabilidade ambiental (AMAZONAS, 2002; MUELLER, 2007). O autor, focando sua análise – como já foi exposto no tópico anterior – na atuação das leis da termodinâmica sobre a relação sistema econômico-ecossistema global, demonstra que as tecnologias que são desenvolvidas pela sociedade tendem a consumir cada vez mais energia e matéria de baixa entropia. Tais tecnologias aumentam o poder exossomático da espécie humana, degradando de forma irreversível o capital natural existente (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

Georgescu-Roegen é considerado como fundador da “bioeconomia”, área em que se estuda a forma de interação do sistema econômico com a biosfera a partir da escala econômica (relação entre a afluência material e energética, que se transforma em bens e serviços, e a capacidade de suporte dos ecossistemas). Conforme Mayumi (2009, p.1237),

“Institutions of the market, money, credit, enterprises of all sorts, and the internal logic inherent in these institutions, emerged in response to the progressive evolution of the exosomatic nature of humankind. Georgescu-Roegen’s bioeconomics is a new style of scientific thought: it is not a new branch of economics, but a new discipline that combines elements of evolutionary biology, institutional economics and biophysical analysis associated with energy and mineral resources.”

A ação antrópica provoca mudanças qualitativas irreversíveis no meio biofísico por meio da extração de energia exossomática, provinda dos combustíveis fósseis que tanto propulsionou o desenvolvimento econômico ao longo dos séculos XX e XXI. Esta fonte de energia é ótima do ponto de vista do pacote que combina a extração de energia, transformação e transporte no suporte à sociedade industrial moderna (MAYUMI, 2009). Este é um fator

agravante do “*lock-in*” tecnológico em que a humanidade se encontra. E o poder que advém do controle das fontes deste combustível e da tecnologia de processamento diferencia, por sua vez, a distribuição de poder e de potencial desenvolvidor entre as nações.

Mayumi (2009) também defende que a essência do desenvolvimento consiste no poder organizacional e flexível de criar novos processos ao invés de poder para produzir mercadorias por estruturas produtivas cristalizadas. Por fim, exalta a necessidade de procurar meios de tornar a economia mais circular, de modo a aproveitar os resíduos de uma cadeia produtiva em outras, diminuindo, assim, o transumo relativo e absoluto do sistema econômico. Este seria um caminho viável na busca por um desenvolvimento mais sustentável, que é incompatível com a noção econômica tradicional de crescimento econômico infinito.

Na discussão contemporânea em que se entrelaçam as abordagens evolucionárias e econômico-ecológicas, Raine *et al.* (2006) entendem o *sistema econômico como estruturas baseadas em conhecimento que tem a capacidade de “throughput” de maior carga de energia que os sistemas biológicos*. Descrevem a evolução econômica como o desenvolvimento de complexidade estrutural para aproveitar energia disponível do meio ambiente e, assim, evitar a degradação de gradientes de energia. Neste âmbito, o modelo de economia de mercado é estável do ponto de vista evolucionário devido a sua eficácia no aumento do conhecimento e da crescente complexidade estrutural. Foxon *et al.* (2013) afirmam, no mesmo sentido, que a evolução econômica é altamente *path dependente* – ou seja, “o passado importa” – e que sistemas tecnológicos e institucionais podem tornar-se “*locked-in*”, criando barreiras à adoção de alternativas mais benéficas. A elevada dependência em relação aos combustíveis fósseis e o desenvolvimento de meios de transporte historicamente baseados nesta fonte de energia constituem bom exemplo de “*lock-in*” tecnológico.

O crescimento da complexidade estrutural em sistemas econômicos é a consequência da produção de novo conhecimento em organizações mediadas pelo mercado. A evolução econômica é uma consequência dos processos termodinâmicos, sendo o conhecimento o elemento que habilita que a economia expanda sua complexidade organizada e seu potencial dissipativo. Portanto, a evolução dos sistemas econômicos é o resultado da coevolução do conhecimento e de estruturas energéticas em transformação. Conforme Raine *et al.* (2006, p. 355),

“In an economic environment, it could be postulated that there is an attractor, in the space of institutional arrangements towards which the acquisition of knowledge drives economic systems because the production of new knowledge

maximizes the throughput of energy. The central argument is that, as economic systems grow and develop, we should expect to observe the following: (1) an increase in total energy throughput; (2) the development of more complex structures; (3) an increase in autocatalytic cycling activity and the institutional embedding of these processes; (4) the emergence of greater diversity; (5) the generation of more hierarchic levels; and (6) an increase in knowledge structures and their relative importance." (grifo nosso)

Considerando que os processos econômicos são veículos de aceleração entrópica, que a capacidade de suporte dos ecossistemas é limitada (capacidade de absorção de resíduos é finita) e que a biosfera é materialmente fechada, somente faz sentido definir desenvolvimento econômico em um contexto de respeito à resiliência ecossistêmica (GEORGESCU-ROEGEN, 1971; DALY, 1991). Quando a escala econômica ultrapassa tais limites, todo o sistema econômico se coloca em risco juntamente com os sistemas sociais e os ecossistemas, pois há uma incerteza fundamental sobre o comportamento futuro de disrupções nos meios naturais que em última instância sustentam a vida econômica.

A complexidade envolta proporciona reações em cadeia com outros ecossistemas relacionados, sendo que a biosfera encontra um novo ponto de quase-equilíbrio que não é possível de ser previsto com exatidão pelos modelos estatísticos dominados pelo homem. Para exemplificar, ao ser pressionado por impactos antropogênicos, o sistema pode migrar para um patamar em que a biodiversidade é mais pobre e, muitas vezes, com características piores para o interesse econômico e, potencialmente, para a própria manutenção da vida humana (SIMÕES, 2014).

Nesta discussão da importância da complexidade para a compreensão das reais relações entre os sistemas economia-meio ambiente, faz-se fundamental considerar o crescente papel desempenhado pelo comércio internacional como propulsor, por um lado, do aumento da produtividade e desenvolvimento econômico dos países, e, de outro, do impacto desigual sobre a performance ambiental entre os países mais/menos desenvolvidos. É notável que é insustentável do ponto de vista ambiental este crescimento econômico, analisado pela ótica do aumento do metabolismo socioeconômico, baseado na crescente demanda por matéria e energia de baixa entropia para abastecer mercados crescentemente consumistas e concentradores de renda, gerando passivos ambientais crescentes para os países primário-exportadores enquanto gera receitas intermitentes e cuja cotação de *commodities* são definidas nos mercados internacionais (portanto, estes países são tomadores de preços), com alocação mal-planejada dos royalties nos serviços públicos e apropriação dos lucros por poucas empresas

multinacionais. A seguir, o papel desempenhado pelo comércio internacional será analisado por diversas perspectivas teóricas, dando-se destaque para a econômico-ecológica, que lança luz sobre os problemas gerados pela característica de ampliar as desigualdades ambientais, sociais e econômicas que os fluxos comerciais desempenham na lógica globalizante vigente.

1.4 O papel do comércio internacional: três perspectivas teóricas

O processo de desenvolvimento econômico tem sido entendido como o processo de aumento do bem-estar social por meio, principalmente, do aumento da renda per capita de sua população, além de melhorias do ponto de vista de indicadores de diversificação do complexo produtivo, agregação de valor ao produto por meio de pesquisa e desenvolvimento e inovações tecnológicas, e de indicadores de saúde, educação, segurança, etc. Dentre as diversas teorias econômicas, a inserção de uma nação no comércio internacional sempre ocupou parte importante dentro das proposições de política econômica para se atingir níveis mais elevados de desenvolvimento, sendo que esta discussão já se mostrava presente nos escritos de Adam Smith, naquilo que ficou conhecido como Teoria das Vantagens Absolutas.

De acordo com Smith (1983), os países deveriam se especializar naquelas atividades em que apresentam vantagem absoluta de custo de produção em relação aos seus parceiros comerciais, aproveitando-se da divisão do trabalho para maximizar os retornos da aplicação do capital. Neste sentido, o comércio internacional se tornaria benéfico para todas as nações, pois cada uma exportaria aquilo que produz com menor custo e importaria o que seu parceiro comercial produz de maneira mais eficiente. Tais ganhos comerciais propulsionariam o desenvolvimento econômico das nações, desde que o Estado não impusesse políticas protecionistas de modo a distorcer as condições mercadológicas.

David Ricardo (1891), por sua vez, o comércio internacional se desenvolveria pelas vantagens comparativas, ou seja, os países se especializariam nas atividades em que produziriam com menor custo comparativo com seu parceiro comercial, mesmo que este não apresentasse vantagem absoluta de custo em qualquer de seus setores produtivos. Isto é, os recursos produtivos seriam direcionados para o setor em que cada país produzia com menor custo em termos relativos (menor custo de oportunidade). Ressalva-se que tanto Ricardo quanto Smith colocavam ênfase apenas o fator de produção trabalho (custo de mão-de-obra), uma vez que em um contexto de economias capitalistas ainda incipientes este era o principal fator de produção.

Dentro do espectro neoclássico surgiu no início do século XX o modelo de Heckscher-Ohlin-Samuelson, que por meio do teorema da equalização dos fatores, observa que para ser bem-sucedida e eficiente a inserção comercial de uma nação, esta deve se especializar no fator de produção relativamente mais abundante. Seria possível explicar os padrões de comércio exclusivamente pela dotação de fatores, sendo que as diferenças desta última e na intensidade do uso dos fatores de produção nestes países ditariam a inserção comercial dos países. Desde que haja livre comércio de bens finais, é possível a equalização dos preços dos fatores em nível internacional (MUSSA, 1978). No entanto, todas estas teorias clássicas partem de pressupostos de produtos homogêneos, tecnologia identicamente acessível a todos, preferências idênticas, ou seja, condições de competição perfeita entre os países.

A CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe) desenvolveu argumentação crítica a tais teorias, indicando que a corrosão dos termos de troca entre os países que produzem bens primários e mais intensivos em tecnologia tende a criar barreiras intransponíveis para que os primeiros alcancem o nível de desenvolvimento do último. Thirlwall (1979) também contribui para a constatação de que a existência de um setor industrial de transformação forte do ponto de vista exportador nas economias nacionais é essencial para que o crescimento econômico seja sustentado no médio e longo prazo, auxiliando no equilíbrio da balança de pagamentos para níveis maiores de renda per capita. Para tanto, uma atuação estatal coordenada com instituições multilaterais é essencial para fomentar o desenvolvimento desta competência industrial nas economias periféricas, pressupondo a importância da execução de políticas industriais por estes países.

Com o acirramento do processo de globalização comercial e conformação e fortalecimento dos blocos econômicos nos anos 1980 e 1990, o argumento neoliberal de abertura econômica como chave para o processo de desenvolvimento econômico se fortaleceu, ecoado principalmente pelos organismos multilaterais, como o FMI (Fundo Monetário Internacional) e a OMC (Organização Mundial do Comércio). O processo de desregulação econômica e queda das barreiras tarifárias e não-tarifárias foi intensificado principalmente nos países em desenvolvimento que enfrentavam problemas de endividamento interno e externo, e de estagflação, como Brasil, México e Argentina.

1.4.1 A visão mainstream

No que tange à relação entre a inserção comercial e o meio ambiente, na ala liberal defende-se que maior abertura comercial e desregulamentação econômica mais aprofundada,

conjugada com o aperfeiçoamento institucional das legislações ambientais nacionais tendem a promover o desenvolvimento econômico dos países (HUFBAUER e JEFFREY, 1992; GONÇALVES, 2002). Não haveria, neste sentido, *trade-offs* a se resolver entre qualidade ambiental e crescimento econômico. Ao contrário, argumenta-se que a abertura comercial promove condições para o aumento do crescimento econômico, tanto por meio dos recursos provenientes das exportações quanto do aumento de produtividade derivado das importações, o que, por consequência, proporciona recursos financeiros necessários aos investimentos públicos e privados para a preservação ambiental (QUEIROZ, 2012).

O aumento do fluxo comercial proporciona transferência de tecnologias voltadas para melhor gestão ambiental e incentivos à inovação tecnológica e melhoria de produtividade no uso dos recursos naturais, além de acesso a produtos ambientalmente mais amigáveis adquiridos de outros mercados (PLUMER, STUTZIN e TRAUB, 1999). Nas palavras de Queiroz (2012, p.134),

“Os adeptos do livre-comércio defendem que o aumento do intercâmbio comercial não é a origem dos problemas ambientais. No entanto, eles reconhecem que em casos específicos como em países cuja base industrial não esteja consolidada e, portanto, não se encontre preparada para enfrentar as novas situações impostas pela abertura comercial, pode ocorrer um aumento no nível de degradação ambiental em determinados setores.”

Aqui cabe a definição do que são os chamados “green products”, ou produtos ambientalmente mais amigáveis. Esta tarefa não é fácil e esta definição não busca ser exaustiva, mas ser um guia para a classificação dos bens. Segundo a OECD (1999, p.9):

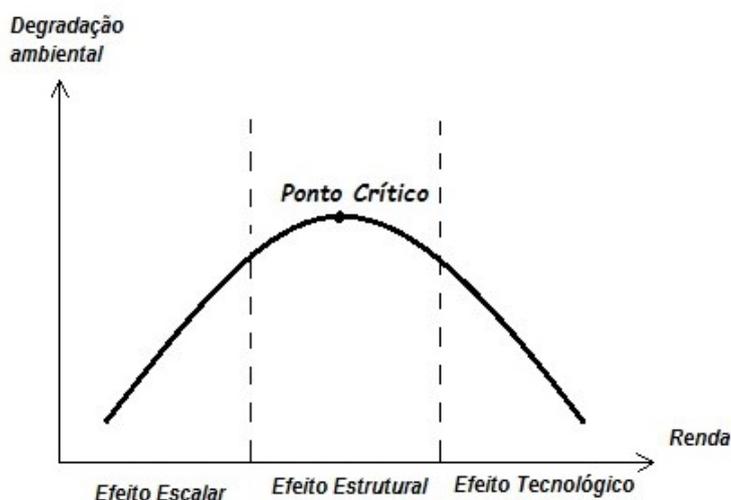
“The environmental goods and services industry consists of activities which produce goods and services to measure, prevent, limit, minimize or correct environmental damage to water, air and soil, as well as problems related to waste, noise and eco-systems. This includes cleaner technologies, products and services that reduce environmental risk and minimise pollution and resource use”.

Nesta discussão encontra-se, também, o conceito de “crescimento verde”, definido por Rodrik (2014) como uma trajetória de desenvolvimento econômico que é baseada no uso sustentável de recursos não renováveis e que internaliza completamente os custos ambientais, incluindo de forma mais importante os relacionados às mudanças climáticas.

Nesta discussão, a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (Figura 1.2) sugere que, a partir de certo ponto, o desenvolvimento econômico, alcançado pelo aumento do PIB per capita, leva à diminuição da intensidade da degradação econômica (GROSSMAN E KRUEGER, 1991). A relação entre PIB per capita e degradação per capita apresentaria o desenho de “U” invertido, sendo que a níveis de renda menores a degradação é crescente (predomínio do efeito

“escala” sobre o “tecnológico”), e a partir de certo patamar (“ponto crítico”) a elevação da consciência ambiental da população, o fortalecimento das instituições e legislações ambientais e concorrência mercadológica por produtos ambientalmente menos nocivos fariam com que o nível adicional de degradação se tornasse decrescente para novos aumentos de renda per capita (dominância do efeito “tecnológico” sobre o de “escala”). Nesta ótica, a solução para a degradação ambiental seria o próprio crescimento econômico.

Figura 1.2 – A Curva de Kuznets Ambiental



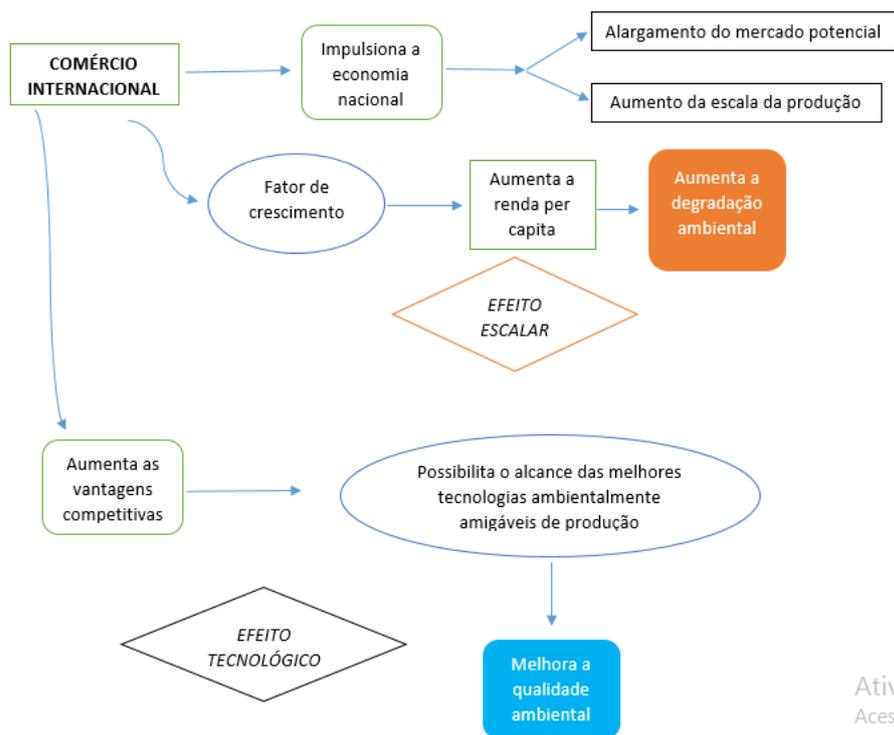
Fonte: Can e Gozgor (2017).

Os efeitos do comércio internacional sobre o meio ambiente (Figura 1.3) podem ser divididos em três tipos: escala, tecnológico e de composição (GROSSMAN e KRUEGER, 1993). O primeiro diz respeito ao aumento da degradação ambiental causada pelo impulso econômico engendrado pela abertura comercial, tendo em vista o aumento dos níveis de produção e do maior mercado a ser explorado; há o impacto de aumento da extração, importação e consumo de matéria e energia pelo sistema econômico, com conseqüente aumento da emissão de poluentes e resíduos.

O efeito tecnológico diz respeito ao potencial de diminuição dos impactos ambientais possibilitado pela demanda de tecnologias mais “verdes”, que respeitem legislações nacionais e internacionais mais restritas do ponto de vista ambiental e do aumento do padrão de qualidade de vida demandado por uma sociedade mais próspera em renda. Aqui, há melhorias no processo produtivo, com aumento da eficiência e eficácia no uso dos insumos e na disposição dos resíduos finais. Conforme Honma (2015), como os poluentes não são dispostos de forma livre,

a redução da degradação ambiental envolve a transformação do processo produtivo, o que requer mudanças tanto nos insumos quanto nos produtos finais. Esta mudança tecnológica levaria a melhorias na qualidade ambiental, e é possibilitada pela acumulação de riqueza propiciada pela abertura comercial, que oferece os recursos financeiros que são necessários para mudar o padrão de relacionamento da economia com o meio ambiente (BEN ZINEB, 2016).

Figura 1.3 – Efeitos escala e tecnológico do comércio internacional sobre o meio ambiente



Fonte: Elaboração própria, a partir de Ben Zineb (2016).

Por fim, como resultado de ambos os efeitos anteriores, há o efeito de composição – ou estrutural – que diz respeito à evolução da estrutura produtiva no sentido de maior participação do setor manufatureiro no PIB, e posteriormente, do setor terciário. Shahbaz *et al.* (2015) afirmam que a abertura comercial permite a transferência de tecnologias mais avançadas dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento, promovendo as possibilidades produtivas com o aumento de produtividade dos fatores de produção, e também a estrutura de consumo de energia do sistema econômico.

A Hipótese de Porter diz que com a rigidez crescente da legislação ambiental, as empresas tendem a se tornar cada vez mais competitivas pela busca de tecnologias ambientalmente mais adequadas, de modo que o processo de inovações tecnológicas leva a maior eficiência no uso dos recursos naturais além de serem menos impactantes em sua

destinação final (PORTER, 1991; PORTER e LINDE, 1995). Neste sentido, por meio do acirramento da competição, o endurecimento das regras do jogo na área ambiental traria para o ambiente empresarial e para a sociedade ganhos de bem-estar devidos à produção de bens e serviços mais amigáveis do ponto de vista da sustentabilidade, sendo um quesito que passa a agregar valor a uma marca. Os liberais ainda alertam para o surgimento do “protecionismo verde”, barreiras não tarifárias que podem surgir devido ao conteúdo “carbônico” das mercadorias. Defendem, por fim, que o comércio é uma importante porta de entrada para as tecnologias “verdes” nos países em desenvolvimento (QUEIROZ, 2012).

Harris (2004) debate acerca das relações entre o comércio e o meio ambiente a partir da ótica da economia neoclássica, considerando os impactos ambientais como externalidades (diferenças entre o custo social e o custo privado) geradas pelo processo de produção e de consumo. O autor destaca o potencial de aumento da riqueza dos países por meio do comércio tendo em vista o aproveitamento das vantagens comparativas e da divisão internacional do trabalho. Faz-se necessário, portanto, levar em consideração a questão das externalidades ambientais quando se analisa as vantagens comparativas de um país no comércio internacional, visto que os prejuízos ambientais têm potencial de sobrepujar os ganhos comerciais. Exemplos de impactos causados pelo aumento de exportação de *commodities* agrícolas são a superexploração do solo, impacto sobre a fronteira agrícola, degradação dos recursos hídricos, etc.

A capacidade de um país se beneficiar do comércio internacional está diretamente relacionada aos ganhos aos consumidores e empresas derivados de maior eficiência econômica propiciada pelo ambiente concorrencial mais acirrado propiciar, além da apropriação de tecnologias ambientais mais avançadas (por exemplo, propiciando redução no consumo de matéria-prima e energia) (HARRIS, 2004). Há também a expectativa de melhoria ambiental por meio da queda de subsídios “perversos” para setores poluidores (como aqueles direcionados à indústria de automóveis movidos a combustíveis fósseis).

Destaca-se, neste sentido, a possibilidade de o comércio internacional gerar impactos desiguais sobre as nações conforme a pauta exportadora de cada país, seu nível de desenvolvimento institucional e as políticas ambientais que impõe. Harris (2004) lembra ainda do papel da OMC como órgão que, apesar de buscar a promoção do comércio das “mercadorias verdes” por meio da queda de barreiras tarifárias e não tarifárias, por outro lado, é vigilante quanto à possibilidade de surgimento de mecanismos protecionistas por parte de países mais desenvolvidos devido aos produtos e processos praticados em economias em desenvolvimento,

cujas legislações ambientais nacionais são menos restritivas. Neste ínterim, apenas no caso de um produto por si mesmo ser perigoso haveria a possibilidade de um país impor-lhe restrições comerciais, sendo o processo de produção desconsiderado como fato gerador destas restrições. Nas palavras de Harris (2004, p.7), *“if rainforests are being destroyed by unrestricted logging, it is not permissible for countries to impose a ban on the import of unsustainably produced timber”*.

As políticas ambientais desenhadas sob o espectro teórico neoclássico, no âmbito nacional, são focadas na internalização das externalidades negativas; já no âmbito internacional, em que há a presença da OMC e dos Acordos Ambientais Multilaterais, as respostas são mais difusas. Apenas no nível nacional há autoridade com capacidade de *enforcement* das políticas ambientais.

Harris (2004) destaca ainda o papel dos Acordos Ambientais Multilaterais – como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris – e como lidar com as normas acordadas no âmbito da OMC, destacando que os países necessitam continuar com a liberdade de instituírem suas próprias políticas ambientais, sem ingerência de órgãos multilaterais. Quanto aos possíveis conflitos de abrangência entre as regras dos acordos multilaterais e das regras estabelecidas pela OMC, Harris (2004, p.14) afirma o seguinte:

“Serious questions remain, however, about the compatibility of MEAs – Multilateral Environmental Agreements – with WTO rules. Which set of international agreements should take precedence in the case of a conflict? For example, the Kyoto protocol encourages the subsidized transfer of energy-efficient technology to developing nations – but this provision could be in violation of the WTO’s prohibition of export subsidies. Whereas national laws such as the U.S. Marine Mammal Protection Act have been found incompatible with WTO rules, there has so far been no major test case involving conflict between an MEA and a trade agreement”.

Por fim, há ainda a Hipótese da Dotação de Fatores (HDF) cujo principal argumento é que a proporção entre capital/trabalho/recursos naturais tem maior influência na definição dos investimentos que serão realizados, se em setores mais ou menos poluentes, sendo que a política ambiental assume papel marginal (FRANKEL, 2008; BRUNEAU, 2010). Neste sentido, espera-se que haja maiores investimentos em setores intensivos em capital nos países em que este fator é mais abundante. Portanto, setores como indústria de petróleo e gás, siderúrgica, papel e celulose, etc., tendem a se direcionar para países em que o custo do capital é mais barato, e em que há economias de escala, logística propícia, capital humano adequado.

As indústrias e outros setores mais intensivos em trabalho humano se concentrariam em países ainda em desenvolvimento, em que o custo da hora trabalhada é um fator mais importante na tomada de decisão de investimento. Por fim, naqueles países em que os recursos naturais se superabundam, como os latino americanos, da África subsaariana, Austrália, Canadá, e países do Golfo Pérsico, a tendência é de que haja maior atração de investimentos na exploração destes recursos.

Naturalmente, os setores mais capital intensivos são mais poluentes, enquanto aqueles do setor de extração de riquezas minerais, florestais, etc., também acabam produzindo elevado teor de rejeitos. Portanto, para que haja mudança na lógica de investimento e, portanto, de geração de poluição, seria necessário propiciar a mudança paulatina da proporção entre estes fatores de produção.

1.4.2 Visão crítica à liberalização comercial

A visão “ambientalista” ou cética quanto à liberalização comercial defende que, em especial para os países em desenvolvimento, uma maior inserção refletiria em piora no uso de suas dotações de recursos naturais. Por exemplo, no caso brasileiro, o aumento das exportações de bens primários (minérios e produtos do agronegócio) tende a aprofundar a degradação dos ecossistemas florestais na fronteira agrícola (biomas Cerrado e Floresta Amazônica) e geração de rejeitos a partir das atividades minerárias.

A respeito da importância da legislação ambiental como fator determinante na tomada de decisão de localização de uma determinada atividade produtiva, tem-se, por um lado, a já referida Hipótese de Porter e por outro, a Hipótese do Refúgio de Poluição (HRP), ou seja, quando os países em desenvolvimento se tornam “refúgios de poluição” para as empresas poluidoras que emigram dos países desenvolvidos, em que os custos ambientais inviabilizaram a produção e causaram o deslocamento produtivo (COPELAND e TAYLOR, 1994, KORVES *et al.*, 2011). Legislações ambientais frágeis e baixo *enforcement* da existente propiciaria ambiente competitivo adequado para a instalação de plantas intensivas no uso de recursos naturais e poluição nos países periféricos no comércio internacional, enquanto os desenvolvidos se concentrariam na geração de inovações tecnológicas e exportação de produtos menos intensivos em matéria-prima e de alta intensidade-tecnológica (QUEIROZ, 2012). Por fim, os céticos ainda ressaltam que a abertura comercial não tem demonstrado resultados consistentes para a erradicação da pobreza, além de interferirem nos padrões de consumo e de produção no

sentido de produtos mais intensivos, por exemplo, em embalagens plásticas, alimentos com elevado uso de defensivos agrícolas tóxicos, etc. (QUEIROZ, 2012).

Segundo a HRP, sendo os custos da legislação ambiental considerados como determinantes para a localização de uma determinada atividade produtiva, países que endureceriam estas regras passariam a apresentar desvantagens comparativas de custos em relação a países com legislações mais frouxas, ou de baixo poder de *enforcement*. Neste sentido, com o aumento da conscientização da população na medida em que aumenta seu nível de conhecimento (via investimento em educação, por exemplo), como fruto do desenvolvimento econômico dos países, e a busca de estruturas econômicas alicerçadas em um forte setor terciário e abertas ao comércio internacional, com inserção estratégica nas cadeias globais de valor, as empresas de setores mais poluentes passariam a emigrar destes países mais desenvolvidos buscando vantagens competitivas de custos nos países menos desenvolvidos (KORVES *et al.*, 2011).

Neste processo, portanto, haveria a busca por “refúgios de poluição”, em que as atividades mais poluentes seriam “exportadas” para o segundo grupo de países, que passariam a concentrar, portanto, maior parte dos prejuízos ambientais causados por estas atividades. Por fim, os países do primeiro grupo não deixariam de apresentar padrão “consumista” baseado em produtos de alto teor de “poluição embutida” no seu processo produtivo, mas não estariam mais lidando com estes danos ambientais na fase produtiva.

Ben Zineb (2016) encontraram evidências empíricas de que quando os países desenvolvidos intensificam o comércio entre si, as emissões de CO₂ derivadas desta relação diminuem, enquanto que o comércio com os países em desenvolvimento provoca aumento das emissões nestes e redução naqueles. Segundo o autor, a fraqueza dos padrões e regras ambientais nos países menos desenvolvidos atrai a transferência das indústrias mais poluidoras para seus territórios, na busca de menores custos de produção e do trabalho.

Asici e Acar (2016) analisaram a pegada ecológica da produção e da importação de mercadorias e encontraram evidências de que maior rigidez e *enforcement* da legislação ambiental e aumento da renda per capita induzem apenas à melhoria nas características da produção doméstica, não contribuindo para a decisão sobre o teor de “degradação embutida” nas mercadorias importadas. Ademais, os autores encontraram evidências de validade da CKA apenas para a produção doméstica, enquanto que a renda per capita apresenta correlação positiva e monotônica com a pegada contida nos produtos importados.

Outra vertente argumenta que a pressão dos setores produtivos por melhores condições concorrenciais e o anseio dos países em não assistirem à migração de empresas de setores poluentes para outros países levariam a uma flexibilização generalizada nas legislações ambientais, chamada de “*race to the botton effect*” (KORVES *et al.*, 2011). Neste caso, as variáveis renda e empregos se sobressaem às preocupações ambientais, e o capital se impõe afastando a questão da sustentabilidade da agregação de valor nas mercadorias e serviços. Ter-se-ia, portanto, um efeito negativo da concorrência no mercado internacional sobre a sustentabilidade ambiental.

Por fim, há também a análise pelos Termos de Troca de Poluição (TTP), em que se analisa o conteúdo de emissões de poluentes embutidos nas exportações e nas importações dos países para se avaliar, por exemplo, as teses de HRP e HFP (BRUNEAU, 2010; GREYER e MATHIS, 2010). Os trabalhos nesta perspectiva realizam levantamento das pautas exportadoras e importadoras, levando-se em consideração a emissão média dos setores. Sendo assim, a ocorrência TTP maior do que um significa que o país apresenta maior geração de poluição nos processos produtivos de suas exportações do que aquela embutida em suas importações. Se, ao longo do tempo, com o aumento do intercâmbio comercial, os países em desenvolvimento passassem a apresentar TTP cada vez maiores em relação aos desenvolvidos, poderia se utilizar deste fato como argumentação de existência dos refúgios de poluição.

1.4.3 A visão econômico-ecológica: o comércio ecologicamente desigual

Trabalhos como os de Young e Lustosa (2003), Saes (2017) e Muradian *et al.* (2002, 2012) destacam que, do ponto de vista dos fluxos materiais (como extração de minérios e combustíveis), os impactos vão se concentrando cada vez mais nos países menos desenvolvidos, como lógica de alimentação dos fluxos comerciais. Nisto há agravamento do processo de deterioração dos termos de troca de mercadorias e serviços, reforçando a lógica centro-periferia de agravamento das distâncias dos padrões de desenvolvimento entre as nações. Destaca-se ainda que o padrão de consumo dos países desenvolvidos agrava a intensidade dos fluxos materiais de bens e serviços acabados para estes, enquanto que a degradação dos processos extrativos e produtivos fica a cargo das nações menos desenvolvidas, que apresentam fragilidades no âmbito institucional e legislativo. A respeito das interações entre economia e o meio ambiente, Muradian *et al.* (2002, p. 52) afirmam que

“(...) are mediated by land transformations and energetic materials flows involved in the metabolism of the production process, as well by the final disposition of wastes and heat

after consumption. In this sense, the scale and 'quality' of the throughput are the main forces determining the environmental change. Since the different steps of the production process are spatially separated, ecosystems are interconnected and pollution may spread, with the environmental pressures associated to the throughput of an economic system are not restricted to the political frontiers of the system"

Dentro da perspectiva de análise energética e material, destacam-se os trabalhos de Odum (1988), Odum e Arding (1991), Hornborg (1998), Giljum e Eisenmenger (2003), Roberts e Parks (2007), Muradian *et al.* (2002) e Saes (2017). Nesta perspectiva, analisa-se o desenvolvimento econômico e o meio ambiente a partir do fluxo de matéria e energia que transita pelos países, no que os autores concluem haver um comércio ecologicamente desigual. O sistema econômico, sendo um organismo entrópico, passa a cada vez mais consumir matéria e energia de baixa entropia para o processo produtivo, sendo a industrialização, motor chave para o desenvolvimento econômico, grande responsável por este salto e elevação contínua de escala econômica. Dois conceitos chaves são utilizados para esta análise, quais sejam: energia e exergia.

Odum (1988) considera a energia como a apropriação energética dos produtos conforme vão se transformando na cadeia produtiva, até chegar ao seu estágio final. As mercadorias carregam, portanto, uma memória energética. Um grande problema é que a maior parte da energia acaba por ser dissipada ao longo do processo produtivo. Daqui, deriva-se uma teoria do valor, em que se relaciona o montante de energia consumida na produção com o preço da mercadoria, sendo estas variáveis positivamente correlacionadas.

Odum (1988) traz a discussão para o comércio desigual de energia entre as nações e regiões, no sentido de haver diferenças na razão energia/dólar em diferentes partes do sistema global, discutindo o comércio sobre “termos de troca energética” (ODUM e ARDING, 1991). Nesta visão, o sistema global acaba por repetir a divisão centro-periferia tão conhecida pela “corrente cepalina”, em que a última é sub-remunerada pelo conteúdo energético de seus recursos naturais visto que estes não são adequadamente valorados pelo mercado, sendo a riqueza acumulada pelo centro, de indústria avançada. Seria necessário, portanto, que a política comercial global fosse direcionada para alcançar maior “equidade energética”.

O conceito de exergia diz respeito à qualidade da energia em uma substância ou contexto particular, ou, em outras palavras, aquela parte da energia que está disponível para o trabalho mecânico, visto que não há consumo de energia, mas de sua qualidade e acessibilidade (conceito relacionado com a concepção de entropia negativa, presente em Georgescu-Roegen (1971)).

Por sua vez, a energia é negativamente relacionada com o preço de uma mercadoria, no sentido de que quanto maior a proporção da exergia original dissipada, maior o preço. O sistema econômico, como todo organismo vivo, é uma estrutura dissipativa, que importa exergia do meio externo e exporta entropia, ou desordem, por meio dos processos metabólicos, como os industriais. Os preços são caracterizados tanto por determinantes culturais (que não refletem os fluxos materiais reais) e que também são determinantes de condições materiais locais para produção (como ocorreu na mudança das estruturas produtivas dos países importadores de petróleo no pós-1973). Por sua vez, a tecnologia (“produtividade”) é uma questão de disponibilidade de energia, que por sua vez é uma questão de preço. Portanto, termos de troca e apropriação sistemática de energia estão na fundação da infraestrutura industrial, que condiciona o potencial de desenvolvimento econômico dos países (HORNBERG, 1998).

Nas palavras de Hornborg (1998, p. 133), *“industrial technology does not simply represent the application of inventive genius to nature, but is equally dependent on a continuous and accelerating social transfer of energy organized by the very logic of market exchange”*. A importação de energia para o processo industrial é uma consequência inexorável do comércio internacional. Quanto mais energia é dissipada hoje pela indústria, maior o montante de novos insumos ela será capaz de comprar amanhã. O desenvolvimento de novas tecnologias, por si só, é uma manifestação da apropriação social cada vez mais intensiva de energia. A distribuição desigual dos recursos é mais atribuída às demandas da tecnologia industrial (ou seja, um nível mais elevado de “desenvolvimento”) do que às tendências acumulativas que são inerentes ao comércio.

Dasgupta (2012) relembra os argumentos do trabalho seminal de Ropke (1994), de que o livre comércio nem sempre deve ser buscado a todo custo para se alcançar o desenvolvimento econômico dos países. O autor argumenta que o impulso econômico da exposição ao mercado externo traz um aumento de escala da exploração dos recursos ambientais e da geração de custos ambientais pelos processos produtivos e de consumo. Por um lado, há baixa internalização dos custos ambientais nos mecanismos de preço, seja dos bens finais, seja dos combustíveis (sendo o setor de transporte, central no comércio internacional, um dos grandes responsáveis pela geração de poluição de gases do efeito estufa). Por outro lado, há a “armadilha da especialização”, com pressão para baixa dos preços dos bens primários exportados em especial pelos países menos desenvolvidos, o que impacta de forma adversa o meio ambiente e a sociedade. Ademais, o comércio aumenta a demanda destes produtos primários pelos países

desenvolvidos, gerando termos de troca cada vez mais desiguais em termos materiais e energéticos.

Do ponto de vista da pegada ecológica, o comércio pode levar à importação de biomassa e capacidade de sumidouro dos países menos desenvolvidos pelos mais ricos, o que leva à degradação ambiental mais pesada sobre os países mais pobres. Por fim, visto que ética e valores são importantes no peso econômico dos resultados ambientais, o comércio acaba por destruir o conhecimento local quando traz conhecimento dominante novo que é apropriado para outros lugares, mas não para as especificidades locais.

Dasgupta (2012) ressalta que a economia ecológica busca modelar o relacionamento sistema econômico e a ecologia, estabelecendo relações de causa e efeito entre estes. Neste sentido, a busca por um “comércio balanceado” do ponto de vista ambiental se refere a uma distribuição igualitária do comércio, em que nenhuma parte envolvida nas transações se torna devedora à outra. Esta relação traria oportunidade para que os países em desenvolvimento se tornassem mais autossuficientes, ao invés de mais dependentes do “centro” econômico. Neste cenário, como a pauta exportadora dos primeiros é pesadamente carregada de produtos primários, “menos comércio” poderia trazer uma relação mais equilibrada no comércio internacional do que a de “livre comércio”.

Barret e Odum (2000) discorrem sobre a centralidade da discussão do conceito de capacidade de suporte quando se fala de desenvolvimento econômico e sustentabilidade. Os autores colocam o impacto ambiental em função do tamanho e densidade da população e da afluência econômica, sendo estes os fatores que elevam o consumo de energia e matéria-prima disponível para o processo produtivo, gerando riqueza econômica. Os autores apresentam o argumento de que é necessário que se mantenha o relacionamento da economia e dos ecossistemas respeitando o nível ótimo de capacidade de suporte, ao invés do nível máximo, a partir do qual a sociedade seria levada a um declínio populacional e econômico para se adequar às limitações biofísicas sobre as quais a economia está assentada. As previsões são de que a sociedade global alcançará o platô populacional entre os anos 2050 e 2100, quando se prevê uma população de mais de 10 bilhões de habitantes, quando estará acima até mesmos do nível máximo de capacidade de suporte, caso nada seja feito para alterar os padrões de produção e de consumo vigentes atualmente. Mesmo com os avanços tecnológicos, capazes de elevar este nível máximo, haverá redução populacional e de afluência econômica neste cenário como consequência das crises ambientais.

Para que o sistema econômico se adeque às tais restrições biofísicas é necessário que os valores dos bens e serviços ambientais sejam economicamente reconhecidos, e que a relação entre economia e meio ambiente seja vista como um processo coevolutivo, tanto na zona rural quanto na urbana (BARRET e ODUM, 2000). É necessário que se traga a discussão da sustentabilidade dos métodos de produção e consumo, e da apropriação da riqueza, para a centralidade do debate econômico, e da construção de políticas públicas, com a transdisciplinaridade que esta mudança exige.

Muradian *et al.* (2002) e Pérez-Ricón (2006) trazem ao debate da economia ecológica a perspectiva cepalina do comércio desigual pela deterioração dos termos de troca dos bens exportados pela periferia em relação ao centro. Nesta perspectiva, os autores demonstram que do ponto de vista dos fluxos de matéria e energia, os países do Sul econômico são os que internalizam a maior parte da exaustão de seus recursos naturais e degradação de seu meio ambiente em prol da exportação de bens primários que, ao longo do tempo, com o crescimento da produtividade, apresenta tendência de queda dos preços, enquanto continuam importando dos países do Norte os bens industrializados, de maior valor agregado. Estes últimos conseguem avançar na desmaterialização e descarbonização de seus processos produtivos e acabam por transferir estes custos ambientais para os países mais pobres, cujo processo de aumento da extração de matéria de baixa entropia mais do que compensa a maior intensidade de uso dos recursos e de menor geração de poluição vista nos países mais ricos.

Neste processo, há também deterioração do que Muradian *et al.* (2002) denominam como termos de troca ambientais. Apesar de não encontrarem um padrão determinístico para EUA, Japão e União Europeia, para os dois últimos casos observou-se ao longo do tempo um processo de exportação da poluição dos processos produtivos para os países em desenvolvimento, de modo que a poluição embutida nas importações se torna cada vez maior do que a de suas exportações. Neste sentido, os países acabam por alcançar melhor qualidade de vida de seus cidadãos, mas o padrão de consumo destes acaba por intensificar materialmente e energeticamente a degradação ambiental nos países de origem dos produtos que consomem.

Seja do ponto de vista da pegada ecológica ou da intensidade material, o que se vê é apenas um processo de deslocamento dos custos ambientais no sentido dos países mais ricos para os mais pobres, cujos volumes exportados se tornam cada vez maiores, apesar da lógica de evolução dos preços de suas *commodities* ser decadente. Portanto, com dominância da tecnologia pelos países do centro econômico, o processo de mudança estrutural das economias periféricas se dá de forma lenta, com perdas no longo prazo de competitividade, tendo em vista

a lógica de elasticidades-renda da demanda das mercadorias que vendem no mercado internacional.

Cada vez mais se faz necessária maior extração de recursos minerais, abertura de fronteiras agrícolas, super-exploração de terras cultiváveis e dos recursos hídricos, etc. para atender à demanda crescente de produtos primários pelos países industriais que, com a manutenção de termos de trocas favoráveis, tornam-se cada vez mais ricos relativamente àqueles. Esta riqueza disponível aumenta, por sua vez, a demanda de *commodities*, numa lógica que agrava os problemas ambientais e não resolve os econômicos dos países menos desenvolvidos.

Como exemplo deste argumento, Pérez-Rincón (2006) demonstra que entre os anos 1970 e 2000, o volume de bens primários exportados pela Colômbia cresceu vertiginosamente, enquanto os preços por unidade de volume em cotação internacional tiveram tendência decrescente. O país, perdeu, de modo geral, competitividade de sua pauta exportadora no comércio internacional, necessitando explorar seus recursos naturais de forma cada vez mais intensiva para atender a demanda de bens intermediários e de capital interna.

Saes (2017) traz essa análise do comércio ecologicamente desigual para o Brasil, observando a lógica das exportações de minerais metálicos. A autora observa o contexto de comércio de bens primários (no caso, *commodities* metálicas), investigando se há um comércio ecologicamente desigual entre as nações do Norte e do Sul, processo que reproduziria a dinâmica de comércio economicamente desigual do tipo Centro-Periferia de Prebisch (1959). Dentro do processo de abertura comercial, sob a dominância do neoliberalismo como tônica das políticas econômicas nacionais, passou a haver intenso processo de *outsourcing*, com intensificação da Divisão Internacional do Trabalho no sentido do processo produtivo se fragmentar, formando as cadeias globais de valor, com cada etapa do processo de produção ocorrendo no país em que há vantagens competitivas maiores (seja na extração de recursos naturais, oferta de trabalho, tecnologia, serviços qualificados, etc.).

Os países do Norte dominam as duas pontas do processo (áreas de pesquisa e desenvolvimento, no *marketing* e nas vendas finais, áreas em que há maior agregação de valor), enquanto que as etapas em que há maior intensidade no uso de matéria, energia e mão-de-obra de baixa qualificação sendo executadas nos países mais pobres. Isto faz com que, mesmo com

o consumo dos produtos finais ocorrendo nos países ricos, a maior parte dos custos ambientais de produção e transporte já foram absorvidos por aqueles do Sul¹⁰ (MARCONDES, 2021).

Há um elevado fluxo de bens e energia de baixa entropia vindos do Sul em direção ao Norte (SAES, 2017). No entanto, os preços destes bens cotados internacionalmente apresentam tendência estrutural de queda, derivada do aumento de produtividade e da escala de produção dos bens primários. Para que estes países continuem com capacidade de importação de bens e serviços de maior qualidade, é necessário que haja intensificação na subtração destes recursos naturais, o que acaba por aprofundar a característica ambientalmente desigual do comércio internacional. A concentração da degradação ambiental empobrece estes países no sentido de ir ao encontro da exaustão da exploração viável de seus recursos minerais, de solos férteis, dos recursos hídricos, da biodiversidade, da capacidade de absorção dos impactos via, por exemplo, do sequestro de carbono, etc. Conforme Saes (2017, p. 44),

“... um país que tenha maior capacidade de concentrar atividades que capturam a maior parcela do valor adicionado gerado pelos processos produtivos será um país que, todo o resto mantido constante, reduzirá a sua intensidade de uso material. Esta redução, por sua vez, deve ser amplificada pelo fato de que as atividades que geram maior valor adicionado, como vimos, são justamente as que se concentram na ponta das cadeias de valores e são baseadas em processos intangíveis como *design* e *marketing*. Assim, não é mera coincidência o fato de que as economias avançadas, que concentram as atividades que capturam maior valor adicionado, são as economias mais bem-sucedidas em promover processos de desmaterialização de suas economias. A simples observação da relação consumo/PIB obscurece esse fato, pois não revela que estas economias dependem crescentemente da produção realizada em economias menos desenvolvidas, inclusive para sustentar taxas, mesmo que modestas, de crescimento do ‘produto’”.

Portanto, quando se analisa o impacto do comércio internacional sobre o meio ambiente do ponto de vista da economia ecológica o fator escala se torna mais preponderante do que o técnico e o de composição. Os impactos ambientais são gerados, por exemplo, pela exploração dos recursos naturais, como jazidas de minérios metálicos, madeira, combustíveis fósseis, além de produtos primários advindos do agronegócio. O mercado internacional, ao mesmo tempo em que oferece maior demanda agregada à produção e diversificação de parceiros comerciais, também impõe lógica de determinação dos preços em que não há poder de barganha por aqueles

¹⁰ Ver Marcondes (2021) para uma análise dos fluxos biofísicos do comércio internacional do Brasil e regiões brasileiras a partir de uma perspectiva neoxtrativista. O estudo apontou para uma forma de inserção perversa em que o país é majoritariamente exportador líquido de materiais. A velocidade de ocorrência do *decoupling* também é maior para os bens importados do que nos exportados.

que produzem. Ademais, o aumento da produtividade levando a queda estrutural da cotação destas mercadorias. Enquanto as nações primário-exportadoras internalizam a degradação ambiental, nos países ricos o *decoupling* é bem-sucedida.

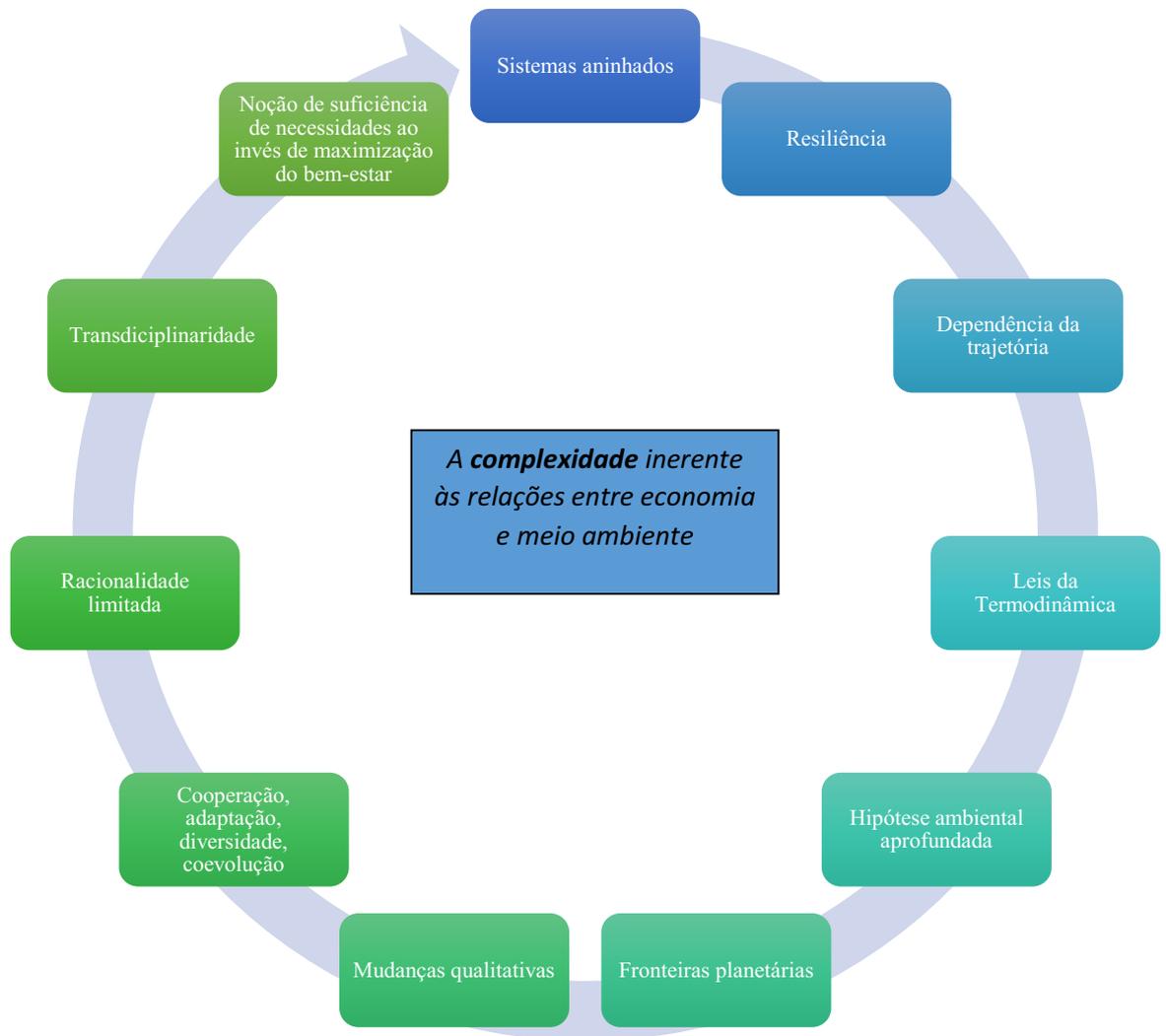
1.5 Notas conclusivas

Neste ensaio, buscou-se a constituição de um arcabouço teórico-analítico que seja robusto o suficiente para lidar com uma característica fundamental nas interações entre os sistemas economia-meio ambiente, que é a sua complexidade. Para tanto, lançou-se mão da teoria da complexidade, de contribuições da economia ecológica, da economia institucionalista e evolucionária, além das fundamentais contribuições da análise do papel do comércio internacional na coevolução destes sistemas. Desta análise, consolidou-se um conjunto de conceitos, destacados na Figura X abaixo, que são basilares para a análise desta relação. Estes conceitos se tornam instrumentos analíticos que são comuns a estas escolas de pensamento, mas que em geral, o *mainstream* econômico, com o uso da análise reducionista a comportamentos isolados dos agentes em condições *coeteris paribus*, acabava por deixar à margem.

O arcabouço teórico convencional (neoclássico) parte do pressuposto de que as relações entre meio ambiente e sistema econômico são desprovidas de importância. Isto porque o sistema econômico compreende o “todo” e o meio ambiente funciona como se fosse um “almoxarifado” – tanto do ponto de vista de fornecimento de recursos como de recepção de resíduos. Esta é a lógica implícita no popular diagrama do fluxo circular da renda, que não faz menção aos fluxos de matéria e energia necessários ao funcionamento do sistema econômico. Como consequência, o estudo das relações entre desenvolvimento econômico e performance ambiental – objeto deste primeiro ensaio – não pode se dar nos marcos teóricos neoclássicos.

A visão mecanicista, linear, reversível e de ampla substituíbilidade, e na qual se busca por pontos de equilíbrios pela maximização/minimização de funções objetivas que simplificam a realidade para adequá-la a modelos matemáticos, é incapaz de lidar com sistemas complexos adaptativos, heterótrofos, entrópicos, evolutivos. Estes são os atributos mais notáveis dos sistemas naturais e sistemas econômicos. Considerando-se que a performance ambiental resulta da forma como um país relaciona sua forma de desenvolvimento com os recursos naturais, percebe-se a importância de se aprofundar no entendimento da natureza real de funcionamento do sistema econômico a partir de uma perspectiva metabólica e sistêmica.

Figura 1.4: Contribuições convergentes da teoria dos sistemas, economia-ecológica, institucionalista e evolucionária



Fonte: elaboração própria.

A complexidade inerente à formação e funcionamento dos ecossistemas também se encontra presente nas sociedades, como estas se organizam e como lidam com o meio ambiente. O sistema econômico também é um organismo complexo em que propriedades emergentes e mudanças qualitativas são predominantes. A noção evolucionária entende o sistema econômico funcionando distante de um equilíbrio estático e definitivo, em que o desenvolvimento é resultado de inovações que mudam qualitativamente o sistema econômico, com aumento de produtividade e maior domínio da humanidade sobre os recursos naturais e que acelera o consumo de energia e de matéria com capacidade de realização de trabalho. Aqui, a trajetória de desenvolvimento depende das decisões pretéritas, da individualidade e diversidade de

entidades econômicas (por exemplo, setores produtivos competitivos) e da forma como se relacionam. A economia mundial encontra-se em um “*lock-in*” da energia fóssil, mas as inovações tecnológicas, ganhos de escala na produção e estímulos de política econômica tem trazido cada vez maior competitividade para as fontes de energia mais limpas. Em suma, este entendimento mais sistêmico da relação entre o meio ambiente e a economia possibilita compreender que é possível o desenvolvimento de uma institucionalidade que traga maior harmonização, sustentabilidade e ciclos positivos de retroalimentação, ao relacionamento entre os sistemas econômico, social e ecológico.

Ao longo dos ensaios 2 e 3, o embasamento teórico-analítico constante neste primeiro ensaio se tornará inerente a toda a análise. No segundo ensaio, se aprofundará na discussão sobre a complexidade econômica e a performance ambiental, com uma análise aplicada, com uso de métodos quantitativos na aplicação do método STIRPAT. No último ensaio, serão ainda incorporadas a este embasamento contribuições da escola novo-keynesiana para a macroeconomia e de proposições evolucionárias para a microeconomia, de forma que será possível delinear, com esta visão mais abrangente e realista da complexidade na relação meio ambiente-economia, propostas de política econômica mais factíveis e necessárias para a adaptação do sistema econômico ao Antropoceno.

1.6 Referências bibliográficas

ABDON, A. et al. Product complexity and economic development. **Levy Economics Institute, Working Papers**, n. 616, 2010. DOI: 10.1016/j.strueco.2011.08.003.

ALVES, J. E. D. A crise do capital no século XXI: choque ambiental e choque marxista. **Dialética**, 46, 2016.

AMAZONAS, M. C. Desenvolvimento sustentável ea teoria econômica: o debate conceitual nas perspectivas neoclássica, institucionalista e da economia ecológica. In: **Desenvolvimento sustentável: A Institucionalização de um conceito**. Brasília: IBAMA, 107-278, 2002.

ANDRADE, D. C., ROMEIRO, A. R., e SIMÕES, M. S. From an empty to a full world: a nova natureza da escassez e suas implicações. **Economia e Sociedade**, 21(3), 695-722, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-06182012000300009>.

- ARROW, K., BOLIN, B., COSTANZA, R., DASGUPTA, P., FOLKE, C., HOLLING, C. S., ... e PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological economics**, 15(2), 91-95, 1995. <https://doi.org/10.2307/2269539>.
- ASICI, A. A.; ACAR, S. Does income growth relocate ecological footprint? **Ecological Indicators**, v. 61, p. 707-714, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.022>.
- ASSESSMENT, M. E. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. **World Resources Institute**, 2005. ISBN 1-56973-597-2.
- BARRETT, G. W., ODUM, E. R. The twenty-first century: The world at carrying capacity. **BioScience**, v. 50, n. 4, p. 363-368, 2000. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0363:ttfctw\]2.3.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0363:ttfctw]2.3.co;2).
- BEN ZINEB, S. International Trade and CO2 Emissions: A Dynamic Panel Data Analysis by the STIRPAT Model. **Journal of Economics and Sustainable Development**. Vol. 7, No. 12, p.94-104, 2016. ISSN 2222-2855
- BOULDING, K. **The economics of the coming spaceship earth**. New York, 1966.
- BRITTO, G. et al. The great divide: economic complexity and development paths in Brazil and the Republic of Korea. **Cepal Review**, 2019.
- BRUE, S. L. **História do pensamento econômico** (tradução: Luciana Penteadó Miquelino). São Paulo: Cengage Learning, 2005. ISBN-13: 978-8522125630.
- BRUNEAU, J. F. **Pollution terms of trade and the composition of manufacturing**. Working paper series, Department of Economics, University of Saskatchewan, 2008. Disponível em: <<http://www.parisschoolofeconomics.eu/IMG/pdf/bruneau.pdf>> Acesso em dezembro de 2020.
- CAN, M., GOZGOR, G. The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 19, p. 16364-16370, 2017. DOI:10.1007/s11356-017-9219-7.
- CAPRA, F., JAKOBSEN, O. D. A conceptual framework for ecological economics based on systemic principles of life. **International Journal of Social Economics**, 2017. DOI: 10.1108/IJSE-05-2016-0136.

CECHIN, A. D. **Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo ou anátema?** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2008. DOI 10.11606/D.90.2008.tde-15092008-102847.

CECHIN, A. D., VEIGA, J. E.. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 30, n. 3, p. 438-454, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-31572010000300005>.

CERQUEIRA, H. E. A. G. A economia evolucionista: um capítulo sistêmico da teoria econômica? **Análise econômica**, v. 20, n. 37, 2002. DOI: 10.22456/2176-5456.10685.

COPELAND, B.R., TAYLOR, M.S. North-South trade and the environment. **The Quarterly Journal of Economics**, 109, p.755-787, 1994. <https://doi.org/10.2307/2118421>.

COSTANZA, R. A new development model for a 'Full' world. **Development**, 52(3), 369-376, 2009. DOI: 10.1057/dev.2009.37.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

DALY, H.E. **Economia do século XXI**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1984.

DALY, H.E. Economics in a full world. **Scientific American**, September, p. 100-107, 2005. DOI: 10.1038/scientificamerican0905-100

DALY, H.E. Towards an environmental economics. **Land Economics** 67(2), p. 255-259, 1991. DOI: 10.1016/0304-3800(87)90041-X

DASGUPTA, P. Trade, environment and development: an ecological economics perspective. **Journal of Interdisciplinary Research**, Volume 2012, Article ID 201204, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>.

DIRZO, R., YOUNG, H. S., GALETTI, M., CEBALLOS, G., ISAAC, N. J., e COLLEN, B. Defaunation in the Anthropocene. **Science**, 345(6195), 401-406, 2014. DOI: 10.1126/science.1251817.

DOGAN, B., SABOORI, B., CAN, M. Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 31, p. 31900-31912, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06333-1>.

- DORDMOND, G. et al. The complexity of green job creation: An analysis of green job development in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 1, p. 723-746, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00605-4>.
- FERRAZ, D. et al. Economic complexity and human development: DEA performance measurement in Asia and Latin America. **Gestão & Produção**, v. 25, n. 4, p. 839-853, 2018. <https://doi.org/10.1590/0104-530X3925-18>.
- FOSTER, J. From simplistic to complex systems in economics. **Cambridge Journal of Economics**, 29(6), 873-892, 2005. <https://doi.org/10.1093/cje/bei083>.
- FOXON, T. J., KÖHLER, J., MICHIE, J., e OUGHTON, C. Towards a new complexity economics for sustainability. **Cambridge Journal of Economics**, 37(1), 187-208, 2013. DOI: 10.1093/cje/bes057.
- FRACCASCIA, L., GIANNOCCARO, I., ALBINO, V. Green product development: What does the country product space imply? **Journal of cleaner production**, v. 170, p. 1076-1088, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.190.
- FRANKEL, J. A. Environmental effects of international trade. **HKS Faculty Research Working Paper Series**, 2009. ISBN 978-91-85935-30-7.
- FREEMAN, C. Japan: a new national system of innovation? **Technical change and economic theory**, 1988.
- GALA, P. **Complexidade econômica**. Contraponto: Rio de Janeiro, 2017.
- GALA, P., ROCHA, I., e MAGACHO, G. The structuralist revenge: economic complexity as an important dimension to evaluate growth and development. **Brazilian Journal of Political Economy**, 38(2), 219-236, 2018. <https://doi.org/10.1590/0101-31572018v38n02a01>
- GEORGESCU ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**, Harvard University Press, Cambridge 1971. ISBN 9780674281653.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy analysis and economic valuation. **Southern Economic Journal**, p. 1023-1058, 1979. <https://doi.org/10.2307/1056953>.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and economic myths. **Southern economic journal**, p. 347-381, 1975. <https://doi.org/10.2307/1056148>.

- GILJUM, S., EISENMENGER, N. North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: a biophysical perspective. **The Journal of Environment & Development**, v. 13, n. 1, p. 73-100, 2004. DOI: 10.1177/1070496503260974
- GILL, F. L., VISWANATHAN, K. K., KARIM, M. Z. A. The Critical Review of the Pollution Haven Hypothesis (PHH). **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 8, n. 1, p. 167-174, 2018. ISSN: 2146-4553
- GONÇALVES, V. **A Liberalização Comercial e o Meio Ambiente**. 2002. Disponível em: http://www.economiabr.net/colunas/goncalves/meio_ambiente.html. Acesso em: 12 de maio de 2019.
- GREETHER, J. M., MATHYS, N. A. Measuring the pollution terms of trade with technique effects. **Development**, v. 5, 2010.
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. Cambridge: NBER, 1991. (Working paper n. 3914). Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/6853464.pdf>> Acesso em fevereiro de 2019. DOI 10.3386/w3914
- HAMWEY, R., PACINI, H., ASSUNÇÃO, L. Mapping green product spaces of nations. **The Journal of Environment & Development**, v. 22, n. 2, p. 155-168, 2013. DOI: 10.1177/1070496513482837
- HARRIS, J. M. **Trade and the Environment**. Tuft University, 2004.
- HARTMANN, D. **Economic complexity and human development: How economic diversification and social networks affect human agency and welfare**. Taylor & Francis, 2014. DOI: 10.4324/9780203722084
- HARTMANN, D., GUEVARA, M. R., JARA-FIGUEROA, C., ARISTARÁN, M., e HIDALGO, C. A. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. **World Development**, 93, 75-93. 2017. DOI: 10.1016/j.worlddev.2016.12.020
- HAUSMANN, R., HIDALGO, C. A., BUSTOS, S., COSCIA, M., SIMOES, A., e YILDIRIM, M. A. **The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity**. Mit Press, 2014. <https://doi.org/10.4324/9780203722084>.
- HESTER, P. T.; ADAMS, K. M. Thinking systemically about complex systems. **Procedia Computer Science**, v. 20, p. 312-317, 2013. DOI: 10.1016/j.procs.2013.09.278.

- HICKEL, J. The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene. **Ecological Economics**, v. 167, p. 106331, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.05.011.
- HIDALGO, C. A., e HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 106(26), 10570-10575, 2009. DOI: 10.1073/pnas.0900943106.
- HODGSON, G. M. Institutional economics: surveying the ‘old’ and the ‘new’. **Metroeconomica**, v. 44, n. 1, p. 1-28, 1993. DOI: 10.1111/j.1467-999X.1993.tb00786.x.
- HOLLING, C. S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. **Ecosystems**, 4(5), 390-405, 2001. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- HONMA, S. Does international trade improve environmental efficiency? An application of a super slacks-based measure of efficiency. **Journal of Economic Structures**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2015. <https://doi.org/10.1186/s40008-015-0023-6>
- HORNBORG, A. Towards an ecological theory of unequal exchange: articulating world system theory and ecological economics. **Ecological Economics**, v. 25, n. 1, p. 127-136, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00100-6).
- HSU, A.; ZOMER, A. Environmental performance index. **Wiley StatsRef: Statistics Reference Online**, p. 1-5, 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03789.pub2>.
- HUFBAUER, G. C., JEFFREY, J. S. **North American Free Trade: Issues and Recommendation**. Washington DC: Institute for International Economics, 1992. <https://doi.org/10.2307/166036>.
- KALLIS, G., e NORGAARD, R. B. Coevolutionary ecological economics. **Ecological Economics**, 69(4), 690-699, 2010. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.09.017
- KORVES, N., MARTÍNEZ-ZARZOSO, I., VOICU, A. M. Is free trade good or bad for the environment? New empirical evidence. **Climate Change–Socioeconomic Effects**, p. 1-30, 2011. DOI: 10.5772/23008.
- BOLETI, E., GARAS, A., KYRIAKOU, A., LAPATINAS, A.. **Economic complexity and environmental performance: Evidence from a world sample**. *Environmental Modeling & Assessment* (2021) 26:251–270, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0>.

- LAWN, P. A. Scale, prices, and biophysical assessments. **Ecological Economics**, 38(3), 369-382, 2001. DOI: 10.1016/S0921-8009(01)00172-0.
- MALGHAN, D. V. **On being the right size: A framework for the analytical study of scale, economy, and ecosystem** (Doctoral dissertation), 2006.
- MARCONDES, L. O. **O modelo de desenvolvimento neoextrativista latinoamericano: um olhar biofísico para o Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2021. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.72>.
- MARQUES, L. C. **Capitalismo e colapso ambiental**. Editora Unicamp, 2016. <https://doi.org/10.7476/9788526815032>.
- MAY, P. H. Mecanismos de mercado para conservação da biodiversidade. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, 27, 14-20, 2011. ISBN: 978-85-352-3765-8.
- MAYUMI, K. Nicholas Georgescu-Roegen: His Bioeconomics Approach to Development and Change. **Development and Change**, v. 40, n. 6, p. 1235-1254, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2009.01603.x>
- MEALY, P., TEYTELBOYM, A. Economic complexity and the green economy. **Research Policy**, p. 103948, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>.
- MUELLER, C. C. **Os Economistas e as Relações entre o Sistema Econômico e o Meio Ambiente**. Brasília: Editora da UnB: Finatec, 2007. ISBN-13: 978-8523008505.
- MURADIAN, R., O'CONNOR, M., MARTINEZ-ALIER, J. Embodied pollution in trade: estimating the 'environmental load displacement' of industrialised countries. **Ecological Economics**, v. 41, n. 1, p. 51-67, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00281-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00281-6).
- MURADIAN, R., WALTER, M., MARTINEZ-ALIER, J. Hegemonic transitions and global shifts in social metabolism: Implications for resource-rich countries. Introduction to the special section. **Global environmental change**, v. 22, n. 3, p. 559-567, 2012. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2012.03.004.
- MUSSA, M. Dynamic adjustment in the Heckscher-Ohlin-Samuelson model. **Journal of Political Economy**, v. 86, n. 5, p. 775-791, 1978. <https://doi.org/10.1086/260711>.
- NORGAARD, R. B. Coevolutionary development potential. **Land economics**, 60(2), 160-173, 1984. <https://doi.org/10.2307/3145970>.

NORTH, D.C. **Institutions, institutional change, and economic performance**. Nova York: Cambridge University Press, 1990. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678>

ODUM, H. T, ARDING, J. E. **Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador**. Narragansett, RI: Coastal Resources Center, University of Rhode Island, 1991.

ODUM, H. T. Self-organization, transformity, and information. **Science**, v. 242, n. 4882, p. 1132-1139, 1988. DOI: 10.1126/science.242.4882.1132.

OECD. **The Environmental Goods and Services Industry**. Eurostat, 1999. DOI: 10.1561/101.00000012

OSTROM, E. **Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action**. New York: Cambridge University Press, 1990. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>.

_____. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. **Science**, v.325, jul. 2009. DOI:10.1126/science.1172133.

OSTROM, E., JANSSEN, M.A., ANDERIES, J.M. Going beyond panaceas: special feature. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.104, p. 15176–15178, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701886104>.

PÉREZ-RINCÓN, M. A. Colombian international trade from a physical perspective: Towards an ecological “Prebisch thesis”. **Ecological Economics**, v. 59, n. 4, p. 519-529, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.11.013

PLUMER, M., STUTZIN, M., TRAUB, W. **Antecedentes sobre el desarrollo y la inclusión del tema ambiental en las negociaciones de tratados comerciales y del ALCA: el Caso Chileno**. San Tiago del Chile: CODEFF, 1999.

PORTER, M. America’s green strategy. **Business and the environment: a reader**, v. 33, 1996. DOI: 10.4236/jamp.2017.58127.

PORTER, M. E.; LINDE, C. V. D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995. DOI: 10.1257/jep.9.4.97.

PREBISCH, R. Commercial policy in the underdeveloped countries. **The American Economic Review**, v. 49, n. 2, p. 251-273, 1959.

QUEIROZ, F. A. **Meio ambiente e comércio internacional**. 2ª Edição, Curitiba: Juruá, p.198, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-85292009000200002>.

RAINE, A., FOSTER, J., e POTTS, J. The new entropy law and the economic process. **Ecological Complexity**, 3(4), 354-360, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2007.02.009>.

RAWORTH, K. **Economia Donut: uma alternativa ao crescimento a qualquer custo**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2019.

REINERT, E.S. "**Developmentalism**" The Other Canon Foundation and Tallinn University of Technology Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics 34, TUT Ragnar Nurkse Department of Innovation and Governance, 2010.

RICARDO, D. **On the principles of political economy and taxation**. G. Bell, 1891. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107589421>.

RIPPLE, W. J., WOLF, C., NEWSOME, T. M., GALETTI, M., ALAMGIR, M., CRIST, E., ... e 15,364 scientist signatories from 184 countries. World scientists' warning to humanity: A second notice. **BioScience**, 67(12), 1026-1028, 2017. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>.

ROBERTS, J. T., PARKS, B. C. Fueling injustice: globalization, ecologically unequal exchange and climate change. **Globalizations**, v. 4, n. 2, p. 193-210, 2007. DOI: 10.1080/14747730701345218.

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F. S., LAMBIN, E. F., ... e NYKVIST, B. A safe operating space for humanity. **Nature**, 461(7263), 472-475, 2009. <https://doi.org/10.1038/461472a>.

RODRIK, D. Green industrial policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469-491, 2014. DOI:10.1093/oxrep/gru025.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, 26(74), 65-92, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>.

RØPKE, I. Trade, development and sustainability: A critical assessment of the "free trade dogma". **Ecological Economics**, v. 9, n. 1, p. 13-22, 1994. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90013-2).

SAES, B. M. **Comércio ecologicamente desigual no século XXI: evidências a partir da inserção brasileira no mercado internacional de minério de ferro**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, 2017.

SCHUMPETER, J. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982. ISBN 85-351-0915-3

SEN, A. K. Democracy as a universal value. **Journal of Democracy**, 10(3), 3-17, 1999. DOI:10.1353/jod.1999.0055.

SHAHBAZ, M. et al. Does foreign direct investment impede environmental quality in high-, middle-, and low-income countries? **Energy Economics**, v. 51, p. 275-287, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.06.014>.

SIMÕES, M. S. **Pagamentos por serviços ambientais sob uma ótica econômico-ecológica e institucionalista: reconciliando teoria e prática**. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Uberlândia, 2014. <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2014.223>

SIMON, H. A. Theories of bounded rationality. **Decision and Organization**, v. 1, n. 1, p. 161-176, 1972. https://doi.org/10.1007/978-1-349-20568-4_5.

SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. Abril Cultural., 1983. ISBN 85-351-0827-0.

STEFFEN, W., CRUTZEN, P. J., e MCNEILL, J. R. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, 36(8), 614-621, 2007. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2).

STEFFEN, W., ROCKSTRÖM, J., RICHARDSON, K., LENTON, T. M., FOLKE, C., LIVERMAN, D., ... e DONGES, J. F. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 115(33), 8252-8259, 2018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>.

STERN, N., e STERN, N. H. **The economics of climate change: the Stern review**. Cambridge University press 2007. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>.

STEVENSON, B., WOLFERS, J. **Economic growth and subjective well-being: Reassessing the Easterlin paradox** (No. w14282). National Bureau of Economic Research, 2008. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1121237>.

THIRLWALL, A.P The Balance of Payments Constraint as an Explanation of International Growth Rate Differences, **Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review**, 32(128), 45–53, 1979. DOI: <https://doi.org/10.13133/2037-3643/12804>.

TOLENTINO, C. M. A. **Technical change and growth in an economic complexity perspective**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. 2018.

UNEP. **Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth**. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2011. ISBN: 978-92-807-3167-5

VAN DEN BERGH, J. C., GOWDY, J. M. Evolutionary theories in environmental and resource economics: approaches and applications. **Environmental and Resource Economics**, 17(1), 37-57, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1008317920901>.

VATN, A. Institutions for sustainability—Towards an expanded research program for ecological economics. **Ecological Economics**, v. 168, p. 106507, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106507.

VEIGA, J. E. **O Antropoceno e a Ciência do Sistema Terra**. Editora 34, 2019. ISBN-13: 978-8573267266.

VITOUSEK, P. M. et al. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997. DOI: 10.1126/science.277.5325.494.

WENDLING, Z.A., EMERSON, J.W., DE SHERBININ, A., ETSY, D.C., LEVY, M.A., SHERBININ, A. D.E. **Environmental Performance Index 2020**. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.21182.51529.

WHITEHEAD, A.N. **Adventures of Ideas**, Macmillan, New York, NY, 1967.

YOUNG, C. E. F., LUSTOSA, M. C. J. A questão ambiental no esquema centro-periferia. **Economia**, v. 4, n. 2, p. 201-221, 2003.

ENSAIO 2: Desempenho econômico e performance ambiental: fatos estilizados e abordagem empírica

2.1 Introdução

É impossível dissociar o processo de desenvolvimento socioeconômico de sua relação umbilical de dependência com a biosfera, ou seja, conjunto de ecossistemas e recursos naturais neles existentes. Toda atividade econômica de produção material precisa se desenvolver em uma localidade física, utilizar matéria e energia disponíveis para realização de trabalho que, quando combinadas com tecnologia, mão-de-obra, conhecimento e bens de produção, possibilitam a geração de bens e serviços para satisfação das diversas necessidades humanas. Conseqüentemente, são devolvidos a este meio ambiente resíduos e energia degradados, que acabam por diminuir a qualidade ambiental em que a vida humana se desenvolve. Portanto, a degradação ambiental é parte inerente do processo econômico, e tende a apresentar correlação positiva com a produção econômica, mensurada comumente pelo Produto Interno Bruto (PIB) (HOLDREN E EHRLICH, 1974; NOBRE E AMAZONAS, 2002; FARLEY, 2010).

A complexidade econômica – segundo a corrente de pensamento econômico novo-desenvolvimentista – diz respeito, neste mesmo sentido, à diversidade e ubiquidade produtiva, à capacidade de geração de valor a partir dos recursos e instituições disponíveis e das tomadas de decisão dos *stakeholders* (HIDALGO e HAUSMANN, 2009; HAUSMANN *et al.*, 2014; HARTMANN *et al.*, 2017; GALA, 2017; GALA *et. al.*, 2018). No entanto, enquanto que na biosfera a complexidade é um processo natural, do ponto de vista da economia ela não é espontânea e muitas vezes gerada a partir de consensos político-científicos que se cristalizam em planejamentos estratégicos e políticas públicas. Nesta perspectiva, o *laissez-faire*, com a exploração das vantagens comparativas agravadas pelas dotações de recursos, é incapaz de legar o desenvolvimento econômico via aumento da complexidade produtiva das nações em desenvolvimento (GALA, 2017).

O desenvolvimento econômico dos países pode ser avaliado a partir do grau de complexidade econômica de uma economia, ou seja, pelo teor tecnológico embutido em suas exportações. O *Economic Complexity Index (ECI)* avalia esta complexidade a partir da ubiquidade e diversidade da pauta exportadora de uma economia, no sentido que quanto mais diversificada e composta de produtos que menos concorrentes conseguem produzir, maior será

a “força” desta economia no mercado internacional, o que acaba por refletir em maior capacidade de crescimento econômico de longo prazo, aumentos da renda per capita e melhores indicadores de distribuição de renda.

Não há dúvida de que as interfaces entre o estilo de desenvolvimento (*desempenho socioeconômico*) e o meio ambiente (*performance ambiental*) passam por considerações sobre a estrutura produtiva de cada país. Países que apresentam em sua pauta de exportações uma participação mais elevada de bens de maior complexidade produtiva apresentam, também, maiores taxas de crescimento econômico de longo prazo e melhor crescimento e distribuição da renda per capita (THIRLWALL, 1979; HAUSMANN *et al.*, 2014; HARTMANN *et al.*, 2017). Ademais, estudos mostram que países que apresentam maior complexidade econômica “verde”, ou seja, vantagens comparativas reveladas nas exportações de produtos relacionados às energias renováveis e mais amigáveis ao meio ambiente também apresentam melhor performance ambiental (MEALY e TEYTELBOYM, 2018; BOLETI *et al.*, 2021).

Aqui, a performance ambiental diz respeito à forma como o estilo de desenvolvimento econômico de um país se relaciona com sua institucionalidade ambiental e geração de impactos ambientais. Portanto, este conceito remete à relação entre o transumo e a geração de renda de um país e como ela é distribuída, sendo consideradas informações quanto à degradação ambiental gerada a partir das atividades antrópicas bem como os esforços de promoção da qualidade dos ecossistemas. É fato que existe um vasto cardápio de indicadores ambientais, cada um contendo suas próprias metodologias e suas dimensões de interesse. Todavia, este ensaio considerará como de particular interesse o *Environmental Performance Index* como parâmetro de análise para o desempenho ambiental dos países¹¹.

E quanto à discussão ambiental? Quais são as interfaces entre complexidade econômica, comércio internacional e performance ambiental dos países? Como já debatido do ponto de vista teórico no primeiro ensaio desta tese, é necessário observar quais são os impactos ambientais de uma maior inserção comercial e da qualidade desta, a partir do *ECI*, e como isto é refletido nos indicadores de degradação ambiental. O problema deste ensaio, portanto, é avaliar em que medida a complexidade econômica e a inserção no comércio internacional de um país são importantes para explicar os impactos ambientais. Neste caso, serão avaliadas empiricamente a evolução temporal da intensidade carbônica e material das economias para o período de 1995-2015.

¹¹ Mais adiante serão fornecidos mais detalhes sobre cada um destes indicadores e os motivos que levaram à seleção dos mesmos.

A hipótese principal que se considera é de que o aumento da complexidade econômica, refletida em maior *ECI* ao longo do tempo, é importante na “descarbonização” das economias, visto a perda de importância econômica de setores mais intensivos em energia (como indústria siderúrgica) no processo de evolução da estrutura produtiva de um país. Entretanto, este padrão é inverso no que tange à intensidade material, já que o padrão de consumo elevado a partir do aumento da renda, nas economias capitalistas, é refletido em maior volume de consumo de bens (duráveis e não duráveis) e de serviços.

Portanto, em linhas gerais, o desenvolvimento econômico, refletido no aumento da complexidade produtiva das economias, acaba por ter impactos de entrada e de saída diferenciados no que tange aos aspectos ambientais. Para além disso, considera-se ainda que o comércio internacional, o fluxo de capitais via Investimento Estrangeiro Direto e o grau de qualidade das instituições dos países são importantes variáveis que determinarão a alocação da intensidade da degradação ambiental de forma diferente conforme muda o nível de desenvolvimento dos países.

Como inovações deste ensaio tem-se: (i) análise da intensidade de degradação ambiental por diversas medidas de entrada e saída de matéria e energia do sistema econômico, além de fazê-la a partir dos pontos de vista da produção e do consumo, de modo a investigar o papel da complexidade econômica, do comércio internacional, do fluxo de capitais e da institucionalidade dos países como indutores de performance ambiental; e (ii) análise da intensidade da degradação ambiental tendo o *ECI* como variável que melhor caracteriza o desenvolvimento econômico, seguindo tendência de trabalhos recentes, mas com a análise para a amostra mais completa possível de países, e subdivisão entre países menos/mais complexos para capturar efeitos possivelmente não significativos do ponto de vista estatístico quando se analisa apenas a amostra completa.

Este ensaio dá continuidade à esta tese com a estrutura que se segue: primeiramente, será realizada uma revisão teórica e bibliográfica acerca do modelo *STIRPAT* (*Stochastic Estimation of Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*), com a conceituação da complexidade econômica, sua interface com a degradação ambiental, destaque para os trabalhos empíricos mais recentes que levam em consideração a complexidade econômica dos países e o *decoupling* de recursos e de impacto. Na segunda parte do ensaio, será exposta a metodologia do trabalho empírico utilizando dados em painel, por meio do modelo de efeitos fixos. Serão expostos e debatidos os resultados, seguidos das notas conclusivas.

2.2 Propulsores da degradação ambiental: trabalhos empíricos utilizando o modelo STIRPAT

O modelo STIRPAT (*Stochastic Estimation of Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*) tem sido um dos mais aplicados quando se fala em indicadores de impacto ambiental. Como variável dependente, geralmente se usa o nível de emissões de GEE (em especial CO₂), mas também há trabalhos em que é utilizada a pegada ecológica como *proxy* de impacto. Como em seu surgimento, a essência das variáveis explicativas está ligada ao tamanho da população, nível de renda per capita e indicadores de tecnologia. A formulação inicial apresentava apenas a contabilização do impacto com todas as variáveis tendo coeficiente angular unitário ($I = P \times A \times T$ – em que o termo T é tido como a variável a ser determinada a partir dos dados das demais). Já o modelo STIRPAT propõe encontrar a ponderação – ou elasticidade – das variáveis na explicação do impacto ambiental por meio de modelos econométricos.

É importante fazer aqui uma distinção entre o modelo STIRPAT e os modelos tradicionais de teste da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA). A CKA tradicional testa a relação entre o desenvolvimento econômico – mensurado, em geral, pelo PIB per capita – e os impactos ambientais – geralmente, uma variável de poluição, como a emissão de gases de efeito estufa, em especial, o CO₂. Outras variáveis de afluência econômica têm sido incluídas, por exemplo, o *ECI*, participação do PIB industrial no valor adicionado total da economia, taxa de urbanização, etc., mas como variáveis de controle. Por sua vez, o modelo STIRPAT tem, como princípio, levar em consideração obrigatoriamente a noção de que o impacto ambiental é fruto, além da afluência econômica, de fatores populacionais e tecnológicos, sem os quais não se faz possível a compreensão da complexa relação entre o sistema econômico e a biosfera.

Dietz e Rosa (1994), em trabalho seminal, trataram sobre como repensar os impactos ambientais a partir do modelo IPAT utilizado nos trabalhos de Commoner (1972, 1992), Ehrlich e Holdren (1971, 1972) e Holdren e Ehrlich (1974). Nos trabalhos iniciais, a estratégia era a busca de um modelo que levasse em consideração os essenciais testes estatísticos que pudessem gerar previsões e comparações entre diferentes amostras analisadas. Sabendo-se que o tema requer avaliação conjunta das ciências sociais e das ciências biológicas e ambientais, os autores afirmam que alguns impactos são melhor conhecidos do que os outros. Os impactos da emissão

de GEE sobre o aquecimento global, por exemplo, são mais bem mensurados do que os impactos econômicos causados pela perda de biodiversidade.

Tal reformulação deve passar obrigatoriamente por seis pontos (Dietz e Rosa, 1994). Primeiro, é necessário considerar um modelo estocástico ao invés de um esquema contábil para que seja possível se testar hipóteses. Segundo, seria de grande valia o emprego de diversos indicadores de impacto ambiental e considerar a possibilidade de criação de índices gerais dos indicadores individuais. Terceiro, a modelagem deve incorporar efeitos de taxa ou ritmo de crescimento, distribuição e composição da população, que podem ter maior importância sobre os impactos ambientais do que o tamanho da população propriamente dito. Quarto, medidas alternativas de desempenho econômico ao PIB e PNB, como indicadores de distribuição da renda devem também ser consideradas. Quinto, a tecnologia deve ser avaliada diretamente, por exemplo, como medidas de eficiência na conversão energética, e não mais tida como um resíduo do cálculo. Sexto, visto que estes vários fatores interagem de maneira complexa, é definitivamente necessário que se mova de um modelo de equação única – ou seja, um que estima apenas efeitos líquidos diretos de outras variáveis no modelo – para um modelo de sistemas que estima tanto efeitos diretos quanto indiretos das forças motoras.

A reformulação do modelo IPAT passa por sua transformação no modelo estocástico STIRPAT com a seguinte formulação da equação (1):

$$I = aP^bA^cT^de \quad (1)$$

Em que I, P, A e T continuam sendo, respectivamente, impacto ambiental, tamanho da população, atividade econômica per capita e impacto por unidade da atividade econômica. Agora, a , b , c , d e e são parâmetros e e um termo residual. Informações sobre I, P, A e T podem ser usadas para estimar a , b , c , d e e utilizando métodos estatísticos padronizados como análise de regressões e similares. Estes parâmetros são chamados de “elasticidade ecológica”, definida como a variação proporcional nos impactos ambientais devido a uma mudança em um indutor (YORK *et al.*, 2003a).

Por fim, Dietz e Rosa (1994) afirmam que é necessário desenvolver um modelo de avaliação do impacto ambiental a partir de uma visão socioecológica, levando em consideração variáveis sociais, como aspectos culturais (por exemplo, a opinião pública, movimentos sociais e história cultural), políticas econômicas (como posição na economia global, democracia e grau

de interferência governamental na economia) e estrutura social (aspectos de pobreza e desigualdades sociais, por exemplo).

Dando continuidade ao desenvolvimento desta nova metodologia, Dietz e Rosa (1997) levam a cabo um experimento da formulação STIRPAT com o objetivo de sugerir uma abordagem para análise das mudanças ambientais guiadas pelo homem e aplicar uma formulação das emissões antropogênicas do principal GEE, o CO₂, justificado por ser o principal propulsor do aumento do efeito estufa e pela maior disponibilidade de dados. Neste trabalho, os autores consideraram uma amostra de 111 nações (universo com dados disponíveis para a data do estudo) com os efeitos da população e atividade econômica para o ano de 1989 (*cross-section*). Utilizaram como variável dependente os dados de emissão industrial de CO₂ (em milhões de toneladas de carbono por ano) e como variáveis explicativas o tamanho da população (P) e PIB per capita (PIBpc) (A). Tecnologia foi modelada como um termo residual que incorpora também a noção de organização social, instituições, cultura e todos os outros fatores que afetam o impacto humano no meio ambiente para além da população e da afluência.

O modelo estocástico é idêntico ao da equação (1), com a adição do subscrito “*i*” em todas as variáveis, denotando as diferentes observações para cada nação. A estimação desta função permite a identificação dos níveis de afluência ou população que produzem efeitos de limiar, aceleração ou outros mais complexos.

Quanto aos resultados, viu-se que o tamanho da população apresenta grande importância e impacto negativo sobre os impactos ambientais (apresentando efeito significativo estatisticamente e não linear, dada a importância do termo quadrático). Os efeitos da afluência diminuem e até caem para nível muitíssimo elevado de PIB per capita, o que é sugerido pela mudança para uma economia baseada em serviços e de aumento da eficiência energética, mas isto só ocorre para nível de renda per capita acima de US\$ 10.000, sendo que 75% da amostra de nações apresentam renda até US\$ 5.000.

Subentende-se, portanto, que para a maioria dos países a afluência aumenta os impactos ambientais de maneira crescente por um longo período de tempo, de modo que reduções da emissão de CO₂ não ocorrerão de maneira natural no curso de desenvolvimento dos países, sendo necessário enfocar esforços para aumentar a eficiência energética de maneira voluntária. Nega-se, portanto, a ideia da Curva de Kuznets Ambiental em forma de “U invertido”. Por fim, o multiplicador tecnológico (o antilog do termo de resíduo) precisa de estudos mais aprofundados para serem interpretados, devido à variedade de fatores nele inseridos.

De modo geral, os estudos destacam as variáveis ligadas à população como maior indutor de impactos ambientais, tendo efeito mais do que proporcional. Este fato retoma às teses neomalthusianas de necessidade de se gerir políticas públicas que induzam a um crescimento populacional mais condizente com a capacidade de sustentação dos ecossistemas globais. Destaca-se também que em amostras de países desenvolvidos, por vezes o PIB per capita apresenta impacto negativo sobre a variação do impacto ambiental, demonstrando que estes países já alcançaram estrutura produtiva e de consumo mais amigáveis ao meio ambiente.

Por sua vez, quando se analisa países em desenvolvimento e os mais pobres, é unânime que a afluência tem sinal positivo, aumentando a degradação ambiental com aumento da renda per capita. A variável taxa de urbanização tem se mostrado robusta nas estimações, com efeito positivo sobre os impactos ambientais, ou seja, países que estão passando por vigoroso processo de industrialização e consequente urbanização apresentam elevado potencial poluidor, visto estrutura tecnológica e produtiva obsoleta e ineficiente (SILVA *et al.*, 2015). No Anexo I apresenta-se uma síntese de trabalhos relevantes que utilizam a metodologia STIRPAT para subsidiar a escolha de variáveis dependentes e independentes para os modelos aqui testados – mesmo que não utilizando esta nomenclatura, mas mesma estrutura de modelagem dos impactos ambientais – em âmbito internacional e nacional.

Observa-se que além da emissão de CO₂, uma importante *proxy* para impactos ambientais é a “pegada ecológica”, que tem crescido em aceitabilidade nos meios acadêmicos. A variável busca colocar em uma única métrica diversos impactos ambientais, baseados na ideia de que a terra é fundamental para os três benefícios fundamentais auferidos pela humanidade a partir do meio ambiente: espaço, produtos e serviços, e sumidouro de resíduos. A pegada ecológica é mensurada somando-se as áreas que são necessárias para prover os serviços ecossistêmicos consumidos (com ajuste da produtividade biológica) (ROSA *et al.*, 2004).

2.3 Complexidade econômica e degradação ambiental¹²

2.3.1 Complexidade econômica

Esta seção objetiva relacionar, ainda que preliminarmente, a discussão sobre complexidade econômica e performance ambiental. Para isto, inicialmente será retomado a

¹² Até então, o termo complexidade foi tratado de maneira genérica, incluindo ou não a dimensão econômica. Nesta seção, porém, a complexidade será tratada estritamente no seu sentido econômico.

discussão estruturalista que resulta no desenvolvimento do *Economic Complexity Index (ECI)*. Posteriormente, apresenta-se o *Environmental Performance Index* como indicador para a performance ambiental. Em seguida, serão abordados trabalhos empíricos que relacionam a complexidade econômica com a performance ambiental. O diálogo entre a complexidade econômica, desenvolvimento econômico e performance ambiental está na fronteira do conhecimento das ciências, mas ainda numa esfera muito empírica.

No debate sobre o desenvolvimento econômico, o pensamento estruturalista surgiu num ambiente de estudo das maneiras pelas quais os países subdesenvolvidos, por volta das décadas de 1940 e 1950, conseguiriam alcançar um padrão de desenvolvimento similar aos líderes econômicos mundiais (à época, EUA e União Soviética)¹³. Os principais autores desta vertente são Paul Rosenstein-Rodan, Ragnar Nurkse, Arthur Lewis, Albert Hirschman, Gunnar Myrdal e Hollis Chenery, e na América Latina, Raul Prebisch e Celso Furtado, conformando as bases da tradição “cepalina”.

Em contraponto à escola neoclássica, os estruturalistas enfatizavam políticas setoriais, principalmente “industrializantes”, como mecanismos de *catching-up* tecnológico e, por consequência, de geração de crescimento econômico de longo prazo. Os autores destacam as imperfeições de mercado (como a exigência de escala produtiva e, assim, oligopolização mercadológica em setores específicos) e a importância do setor manufatureiro para o fortalecimento do desenvolvimento econômico, dados os elevados retornos crescentes, elevada incidência de mudança e inovações tecnológicas e elevada sinergia e conexões surgidas da divisão do trabalho (REINERT, 2010; GALA *et al.*, 2018). Por fim, percebe-se uma conexão entre a estrutura produtiva de um país e sua habilidade de gerar e distribuir renda, sendo as transformações estruturais os processos pelos quais as economias diversificam a partir da agricultura e das indústrias extrativas para formas mais sofisticadas de manufaturas e serviços (HARTMANN *et al.*, 2017).

Para os estruturalistas, o crescimento econômico de longo prazo é um processo “setor-específico” e, conseqüentemente, envolve uma crescente participação do setor industrial na economia nacional, visto que este propicia o maior potencial de produtividade, efeitos de

¹³ Nas seções anteriores, a ideia de desenvolvimento econômico foi debatida à luz das abordagens econômico-ecológica, institucional e evolucionária. Acrescenta-se aqui uma nova perspectiva para o debate sobre desenvolvimento: os novo-desenvolvimentistas, cujas origens remontam à escola estruturalista. Para Bresser-Pereira (2020), o novo-desenvolvimentismo se baseia na economia política clássica, na economia Keynesiana, no institucionalismo e desenvolvimentismo clássicos, além da escola de regulação.

transbordamento, *feedbacks* para trás e para frente, assim como externalidades tecnológicas e de rendas. Aqui, o foco é essencialmente nas propriedades internas da indústria manufatureira e na forma como estas são assimiladas pela economia como um todo, propulsionando o processo de desenvolvimento econômico (GALA *et al.*, 2018).

Como resgate do pensamento estruturalista e das contribuições da escola evolucionária¹⁴, Hausmann *et al.* (2009) desenvolveram uma metodologia de avaliação da complexidade dos produtos e de uma economia a partir da noção de sofisticação da estrutura produtiva de um país, da sua competitividade no mercado internacional e de seu potencial de desenvolvimento econômico a partir desta estrutura. Foi desenvolvida a ferramenta *Atlas da Complexidade Econômica*, que contém o *Economic Complexity Index (ECI)* e o *Product Complexity Index (PCI)*. Para Gala *et al.* (2018), uma das principais virtudes do *ECI* e do *PCI* é o fato de que operam baseados em medidas quantitativas obtidas de cálculos algébricos, não havendo qualquer julgamento quanto àquilo que se deve considerar ou não como “complexo”.

O cerne da discussão está nas capacidades produtivas dos países, que dizem respeito a todos os insumos, tecnologias e ideias que, em combinação, determinam as fronteiras do que uma economia pode produzir. Hidalgo e Hausmann (2009) argumentam que as capacidades produtivas incluem desde infraestrutura, até solo, leis e normas, maquinário, pessoas, livros e conhecimento coletivo. Estas capacidades determinam o número e qualidade de produtos que um país pode exportar de forma competitiva. A pauta exportadora, portanto, revela o caráter da capacidade produtiva que a engendra.

O *ECI* mensura a sofisticação da estrutura produtiva de um país por meio da combinação de informações sobre diversidade de um país (o número de produtos que exporta) e a ubiquidade destes produtos (o número de países que exportam tais produtos). Em outras palavras, o *ECI* proporciona uma medida da estrutura produtiva de um país que incorpora informações sobre a sofisticação de seus produtos (HARTMANN *et al.*, 2017). A complexidade e diversidade dos produtos exportados por uma economia são uma boa *proxy* do conhecimento e *know-how* disponível em uma economia que não é capturado por medidas agregadas de capital humano. O *mix* de produtos que uma economia produz de forma competitiva revela, inclusive, as restrições para oportunidades de emprego, de aprendizado, e de poder de barganha de seus trabalhadores e sindicatos.

¹⁴ Como exemplos das contribuições da escola evolucionária, estão a ideia de path-dependence e o conceito de *lock-in*.

O *ECI* é calculado por meio das informações sobre exportações que conectam países aos produtos em que obtém vantagens comparativas reveladas (VCR). Conforme *The Atlas of Economic Complexity* (2021), utiliza-se aqui a definição de Balassa, que diz que um país é um exportador eficiente de um produto se ele exporta mais do que sua “fatia justa”, ou uma parcela que é no mínimo igual à fração do comércio global total que o produto representa (VCR maior que 1)

O *ECI* quantifica o “espaço de produto” dos países, ou seja, é uma representação em rede do grau de relacionamento e proximidade entre produtos comercializados internacionalmente. Quando um país produz um produto que é localizado no centro do “espaço de produto” (como produtos metálicos, maquinaria e químicos), muitos outros bens relacionados também podem ser produzidos com o dado conjunto de capacidades. Daí a noção de proximidade produtiva, que leva à medida dos “produtos adjacentes”, ou seja, aqueles mais prováveis e fáceis de passar a incorporar o tecido produtivo pela noção de cumulatividade de conhecimento, *path dependence*, circulação do conhecimento da mão de obra capacitada, etc.

Em se tratando da inserção comercial dos países na economia global e, conseqüentemente, a forma como esta impacta o meio ambiente, é necessário trazer ao debate o tema da complexidade econômica, abordado inicialmente no primeiro ensaio. Isto porque este conceito (complexidade econômica) remete à estrutura produtiva de um país, ou seja, aos bens e serviços em que a economia se mostra competitiva em nível global por meio da sua cesta de exportações (HIDALGO *et al.*, 2007). A complexidade econômica reflete o montante de conhecimento acumulado, combinado e transferido em uma população (CHU, 2020). Em decorrência, a complexidade econômica é fundamental para definir a forma de inserção de um determinado país nos fluxos de comércio internacional.

Bens mais complexos são aqueles que apresentam elevado teor de conhecimento acumulado embutido, inovação tecnológica e sofisticação, e por estas características, elevado valor agregado. Para tanto, é essencial que investimentos em pesquisa e desenvolvimento e na inovação e absorção tecnológica sejam levados a cabo, de modo a diversificar a estrutura produtiva e aumentar a qualificação do capital humano, qualidades que tornam o país competitivo nos bens mais complexos (HAUSMANN, 2009).

Fala-se da mudança da estrutura produtiva como um processo evolutivo, partindo-se de uma economia mais baseada em bens primários (*commodities* agrícolas e minerais, por exemplo) para uma de maior participação do valor agregado de bens industrializados de maior teor tecnológico. O processo de acumulação de conhecimento, com ganhos de escala e *spill-*

over tecnológico pelos outros setores da economia, num contínuo aumento da produtividade dos fatores de produção, propicia o desenvolvimento econômico dos países, com crescimento econômico sustentado no longo prazo e de melhor distribuição da renda. Chu (2020) afirma que o grau de complexidade econômica propicia uma visão holística da escala, estrutura e mudanças tecnológicas de um país.

Neagu (2019) explica que economias complexas são aquelas que gerenciam conhecimento relevante por meio de extensas redes de relacionamento de pessoas para gerar um diverso *mix* de produtos intensivos em conhecimento que propulsionam a prosperidade econômica da sociedade, aumentando a participação dos bens de elevado valor agregado em sua pauta de exportação. A complexidade pode explicar a estrutura de comércio dos países, sendo que os mais desenvolvidos detêm vantagens comparativas nas atividades que demandam coordenação de capital humano altamente capacitado (MINONDO *et al.*, 2013). Em suma, complexidade diz respeito à acumulação de conhecimento e capacidade de diversificar e agregar valor à produção econômica, especialmente nos setores industriais de ponta.

De acordo com Romeiro e Gramkow (2020), a produção competitiva de diferentes tipos de bens requer diferentes capacidades. Consequentemente, as capacidades presentes em um país determinam os bens que pode produzir e quão difícil é se iniciar a produção de bens que requerem capacidades diferentes (ou adicionais). O conjunto de bens que um país consegue produzir competitivamente e o nível de complexidade destes bens indicam as capacidades que um país possui. Tais capacidades apenas são geradas por um processo fundamentalmente *path dependence*, com acumulação de conhecimento, capacitação do capital humano, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, ganhos de escala na produção, *spillover* tecnológico e ganhos generalizados de produtividade.

Nesta temática, a literatura de fronteira [por exemplo, Can e Gozgor (2017), Mealy e Teytelboym (2018), Boleti *et al.* (2021), Neagu e Teodoru (2019), Neagu (2019), Dogan *et al.* (2019), Swart e Brinkman (2020), Chu (2020) e Romero e Gramkow (2020)] tem avaliado as relações entre a complexidade econômica, o desenvolvimento econômico, e a degradação ambiental, em especial do ponto de vista dos fluxos de saída do sistema, com destaque para as emissões de gases de efeito estufa (CO₂ sendo o mais estudado). Os trabalhos indicam, consensualmente, que a mudança da estrutura produtiva, com o aumento da complexidade econômica, muda também a estrutura energética e material dos países, o que acaba por determinar o padrão de poluição e geração de resíduos. Esta discussão tem se tornado cada vez mais destacada com a busca dos países em alcançar as metas voluntariamente estipuladas no

Acordo de Paris, além de objetivos regionais, como os estabelecidos no âmbito da União Europeia em seu plano de “descarbonização”.

Esta literatura evidencia empiricamente a existência de uma trajetória de evolução da complexidade econômica e da degradação ambiental na forma de um U-invertido, assim como na hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (Figura 2.1). Num primeiro estágio de desenvolvimento, os países, ao migrarem de estruturas produtivas pouco densas e baseadas em bens primários no sentido de internalização da produção de bens industrializados de consumo não durável (por exemplo, indústria têxtil e alimentícia) e posteriormente setores mais pesados e de consumo durável (por exemplo, indústrias siderúrgica, química, metal-mecânica, automobilística, de eletrônicos, etc.), aumentam consideravelmente seus fluxos de entrada de matéria e energia de baixa entropia, gerando maior degradação ambiental na forma de poluição atmosférica pelos gases de efeito estufa e de resíduos líquidos e sólidos (que contaminam os lençóis freáticos e cursos d’água, além de causarem conflitos quanto a sua disposição).

O aumento da complexidade econômica alcançaria um ponto de mudança em que os efeitos trazidos pela evolução na estrutura produtiva da economia de aumento do valor agregado e de produtividade dos fatores de produção se alastram pela economia, com aumento da eficácia e eficiência no uso das matérias-primas e das fontes de energia, no sentido da diminuição da intensidade carbônica e material da produção. A acumulação de conhecimento, juntamente ao crescimento do capital humano de elevada qualificação, de pesquisa e desenvolvimento em inovações tecnológicas aumentam a eficiência do processo produtivo, ao mesmo tempo que transbordam para a geração de tecnologias verdes e aprimoramento e fortalecimento da legislação ambiental.

A partir deste “ponto crítico”, os ganhos tecnológicos ultrapassam os danos ambientais, e o aumento da complexidade econômica passa a trazer, consigo, diminuição da emissão de poluentes. No entanto, percebe-se que nos estudos sobre a relação entre complexidade econômica e degradação não há uma adequada consideração sobre as dimensões do *decoupling*, a saber, o do lado dos impactos e do lado dos recursos¹⁵. Nas seções seguintes, assumir-se-á por hipótese que o *decoupling* relativo verificado da emissão de poluentes (*decoupling* de impacto), impulsionado pelo aumento da complexidade econômica, possui uma dinâmica diferente do que a verificada na intensidade material do consumo, que continua sendo guiada pelo padrão consumista e, portanto, mais difícil de ocorrer. Os resultados preliminares do

¹⁵ Ver subseção 2.3.3.

primeiro ensaio parecem suportar esta premissa, e modelos empíricos posteriores serão construídos para averiguar esta hipótese.

Conforme Swart e Brinkman (2020), uma motivação importante de se utilizar a complexidade econômica no debate ambiental é a consideração de que baixo *ECI* é associado a produtos que são periféricos no espaço de produção. Estes produtos estão menos conectados a outros produtos, limitando, portanto, as oportunidades de outras atividades econômicas, o que por fim limita também o impacto ao meio ambiente. Conforme a complexidade econômica aumenta, mais oportunidades produtivas e comerciais são geradas, com adensamento do espaço de produção, e consequente aumento da poluição emitida.

Em níveis elevados o suficiente de *ECI*, as mudanças estruturais levam a indústrias intensivas em conhecimento, que demandam mão-de-obra altamente qualificada e habilidades mais amplas de empregos, quando há, portanto, diminuição da degradação ambiental. Exemplo de uma economia mais “sustentável” seria a produção de bens eficientes no consumo de energia e carros elétricos, a geração de energia a partir de fontes renováveis como biomassa, eólica e fotovoltaica, ou inovações direcionadas a reciclagem de materiais e integração de redes de energia elétrica. Importante observar que países bem-sucedidos em suas estratégias de complexificação são potencialmente mais hábeis em deslocar suas produções “sujas” em direção a países menos desenvolvidos (e que permanecem com níveis modestos de complexidade). Por este motivo, a complexidade econômica não pode estar desconectada do debate do comércio internacional.

A fórmula de cálculo do *Economic Complexity Index (ECI)*, principal referência que quantifica a estrutura produtiva dos países quanto ao seu nível de complexidade econômica, indica o grau de sofisticação e de estrutura “*knowledge-based*”. Este índice é uma medida estrutural da rede de relacionamentos que conectam os países aos produtos que exportam e estima o montante de “conhecimento produtivo” embutido em um país, de modo que um maior *ECI* é traduzido como maior capacidade e habilidade de produzir de forma competitiva – e, assim, exportar – produtos complexos (de maior conteúdo tecnológico e valor agregado) (NEAGU, 2009). O *ECI* se configura como o cálculo da complexidade dos produtos e países baseada na informação e na diversidade (número de produtos exportados por um dado país) (Equação 2) e na ubiquidade (número de países que exportam um dado produto) (Equação 3).

$$Diversidade = k_{c,0} = \sum_p M_{cp} \quad (2)$$

$$Ubiquidade = k_{p,0} = \sum_c M_{cp} \quad (3)$$

em que: $k_{c,0}$ e $k_{p,0}$ representam, respectivamente, os níveis de diversificação de um país e a ubiquidade de um produto.

Hidalgo *et al.* (2007) usam o índice de Vantagem Comparativa Revelada (VCR) (Equação 4), desenvolvido por Balassa (1965), para identificar a eficiência de cada economia na produção de cada produto. Formalmente:

$$RCA_{cp} = \frac{x_{cp}/\sum_{p'} x_{cp'}}{\sum_{c'} x_{c'p}/\sum_{c'} \sum_{p'} x_{c'p'}} \quad (4)$$

Em que x denota a quantidade exportada, enquanto os subscritos c e p denotam país e produto, respectivamente. Um índice maior do que um indica que o país tem uma elevada competitividade na produção deste bem, enquanto que o oposto é verdadeiro quando o índice é menor do que um.

Conforme Neagu e Teodoru (2019), um país é capaz de produzir um produto se tem todas as capacidades disponíveis, para tanto está conectado com outros países para realizar esta produção, de modo que há uma rede de países interconectados envolvidos, cada um em fases diferentes do processo produtivo, dentro de cadeias regionais/globais de valor. Um produto pode ser exportado para um conjunto de países e um país exporta produtos utilizando capacidades de outros produtos, resultando em redes bipartites em que países estão conectados com os produtos que exportam. Matematicamente, esta rede é representada usando-se uma matriz adjacente (M_{cp}), que se comporta como variável *dummy*, $M_{cp} = 1$ quando um país c é um exportador significativo de um produto p , e zero para o contrário. A relação entre M_{cp} e RCA_{cp} Equações (5) e (6) é demonstrada abaixo:

$$M_{cp} = 1 \text{ se } RCA_{cp} \geq 1. \quad (5)$$

$$M_{cp} = 0 \text{ se } RCA_{cp} < 1. \quad (6)$$

Países que exportam produtos similares podem estar conectados definindo-se uma nova matriz, ponderada pelo inverso da ubiquidade de um produto e normalizando pela diversidade de um país $\tilde{M}_{cc'}$, Equação (7):

$$\tilde{M}_{cc'} = \frac{1}{k_{c,0}} = \sum \frac{M_{cp}M_{c'p}}{k_{p,0}} \quad (7)$$

O *ECI* é definido conforme a equação (8), sendo calculado como a complexidade média dos produtos exportados por um país em específico com vantagem comparativa a nível internacional, ponderado pela participação de exportações por esta economia:

$$ECI = \frac{K_c - (K)}{std(K)}, \quad (8)$$

Em que K_c é o *eigenvector* de \tilde{M}_{cc} , associado com o segundo maior *eigenvector*. Portanto, quanto maior é o *ECI*, maior o grau de complexidade da cesta de produtos exportados por uma economia refletida pelo valor de suas exportações. Este índice quantifica a complexidade de uma economia em um único valor, com produtos mais complexos sendo exportados por um conjunto menor de economias, visto que requerem conhecimento produtivo mais sofisticado para serem produzidos (SWART e BRINKMAN, 2020).

Em resumo, conforme Hidalgo *et al.* (2007), o uso da complexidade econômica contribui empiricamente com a literatura do desenvolvimento econômico em três pontos, quais sejam: (i) diferentes países se deparam com diferentes oportunidades para aumentar o crescimento econômico, dadas suas diferentes estruturas produtivas e capacidades a elas associadas; (ii) a mudança estrutural é altamente *path dependent*; e (iii) alcançar a competitividade na produção de bens sofisticados leva tempo, visto que este processo requer o aprendizado de novas capacidades e bens menos sofisticados não estão associados com muitas outras atividades.

A transformação da estrutura produtiva na direção de indústrias mais sofisticadas pode ser paralela ao processo de mudança da periferia para o centro da rede de comércio internacional (BOLETI *et al.*, 2021). Gala *et al.* (2018) explicam que bens altamente conectados são fartos de conhecimento embutido e de potencial tecnológico; eles são “*hubs* de conhecimento”, em que aqueles com baixa conectividade apresentam baixo potencial de multiplicação do conhecimento.

Gala *et al.* (2018) investigaram a hipótese de que a complexidade econômica dos países é importante para explicar a convergência ou divergência entre países pobres e ricos. Como resultado, os autores observaram que quanto maior a complexidade da pauta de exportação de países em desenvolvimento, maior a probabilidade de convergência de renda, sendo essencial, para isso, a atuação de políticas públicas adequadas de fomento à indústria mais sofisticada dos países. Gala (2017) defende que os países precisam criar estratégias claras e de longo prazo para se estabelecerem de forma competitiva no mercado internacional por meio da conformação

de uma estrutura produtiva complexa e, para tanto, políticas industriais ativas são essenciais. Na Tabela 2.1, expõe-se o *ranking* dos dez países mais bem colocados quanto ao *ECI*, além do Brasil, em 2017, em que se percebe a grande predominância de países europeus e de processo de industrialização bem consolidado. Por fim, a Figura 2.1 visualiza-se a distribuição dos países quanto ao seu *ECI*, sendo a gradação de cores de vermelho (mais baixo *ECI*) ao azul (mais elevado *ECI*).

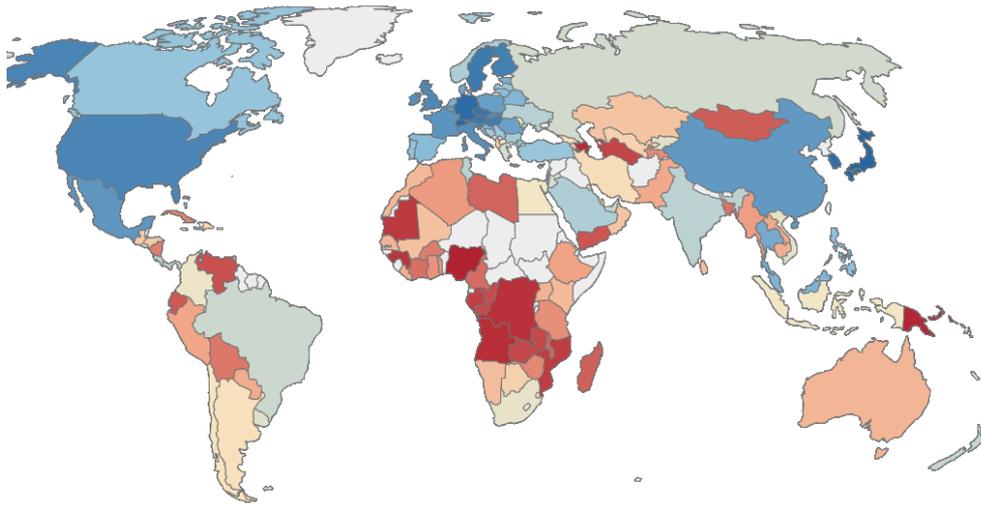
Segundo Mealy e Teytelboym (2018), o *ECI* e o *PCI* são capazes de explicar maior variação na renda *per capita* de um país e de crescimento econômico do que outras variáveis comumente empregadas no estudo desta área (por exemplo, governança, qualidade institucional, educação e competitividade). O *ECI* indiretamente captura a “complexidade” das capacidades dos países pela exploração do padrão de similaridade das informações sobre suas exportações. Países que são ranqueados com elevado *ECI* têm cestas de exportações mais similares a outros países com elevados *ECIs* e tendem a ser economias avançadas capazes de exportar produtos e serviços de tecnologias sofisticadas.

Tabela 2.1 – TOP 10 *ECI* + Brasil – em 2017

Posição	País	<i>ECI</i>
1º	Japão	2.30938
2º	Suíça	2.24386
3º	Alemanha	2.07537
4º	Singapura	1.86534
5º	Suécia	1.80773
6º	Coréia do Sul	1.77613
7º	Estados Unidos	1.75541
8º	Finlândia	1.70679
9º	República Tcheca	1.6431
10º	Áustria	1.62894
37º	Brasil	0.608252

Fonte: adaptado de The Observatory of Economic Complexity (<https://oec.world/en/rankings/country/eci/>).

Figura 2.1: ECI por países em 2017



Fonte: *Atlas of Economic Complexity* (2020).

Do ponto de vista social dos impactos da complexidade econômica, Hartmann *et al.* (2017) testaram a hipótese se a habilidade de um país em gerar e distribuir renda é determinada pela estrutura produtiva. Encontraram fortes e robustas evidências de uma correlação estável entre o nível de complexidade econômica de um país e seu nível de desigualdade de renda. Sendo a desigualdade de renda explicada por vários determinantes, como dotação de fatores de uma nação, a geografia, as instituições, o capital social, as trajetórias históricas, as mudanças tecnológicas e os retornos sobre o capital, os autores assumem que tais fatores estão expressos no *mix* de produtos exportados por um país. Terminam afirmando que políticas sociais e industriais, portanto, precisam se complementar para alcançarem redução da desigualdade de renda.

De maneira geral, os autores que trabalham com o *ECI* ou com a perspectiva da complexidade econômica destacam a sua importância para o debate sobre desenvolvimento das nações. Gala *et al.* (2018) defendem – em consonância aos “velhos estruturalistas” – que a sofisticação produtiva é um meio central para superar o subdesenvolvimento, sendo o processo

de desenvolvimento econômico entendido como o domínio de técnicas de produção mais sofisticadas, o que comumente leva a produtos de maior valor agregado por trabalhador¹⁶.

Recentemente, um veio de análise importante que vem se despontando é a investigação sobre as conexões existentes entre complexidade econômica e performance ambiental. Vários países do mundo já desenvolvido vêm pautando suas estratégias competitivas globais por meio da complexificação das suas estruturas produtivas. Já os países em desenvolvimento tentam ir a reboque deste processo num esforço permanente de redução do hiato tecnológico que os separa da fronteira tecnológica. Todavia, em ambos os casos os processos subjacentes devem estar alinhados com o desiderato da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável (NAÇÕES UNIDAS, 2020), em especial com o nono objetivo: *construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação*.

Partindo-se, pois, da necessidade de convergência com a sustentabilidade ecológica e social, é legítima e necessária a tentativa de conectar o debate sobre complexidade econômica e performance ambiental. Por esta última, entende-se avaliação do quão agressivo/depletor é o estilo de desenvolvimento socioeconômico de uma nação em relação aos ecossistemas e seus respectivos limites biofísicos. Em outras palavras, a performance é definida pela escala econômico-ecológica de um sistema econômico, que por sua vez é condicionada pelo seu estilo de desenvolvimento. Políticas públicas têm o potencial de influenciar a performance ambiental de um país, uma vez que atua sobre um conjunto de variáveis econômicas, sociais, ambientais, tecnológicas, institucionais e culturais (Figura 2.2).

Em outras palavras, a performance ambiental é a magnitude de impactos ambientais gerados pelas atividades econômicas (produção e consumo) num determinado período de tempo e dentro de um determinado espaço econômico (país, região ou firma), sendo, portanto, é uma variável de fluxo¹⁷. De maneira geral, quanto maior o fluxo de degradação ambiental, espera-se uma pior performance, sendo a recíproca verdadeira. Todavia, as relações entre degradação ambiental e performance não são predeterminadas, uma vez que tecnologias de redução dos impactos podem ser um importante elemento a se considerar nas análises. Da mesma forma,

¹⁶ Ver Hidalgo *et al.* (2007), Hidalgo e Hausmann (2009), Abdon *et al.* (2010), Hartmann (2014), Ferraz *et al.* (2018), Britto *et al.* (2018), Tolentino (2018), Dordmond *et al.* (2020), para evidências sobre esta relação entre complexidade econômica e desenvolvimento.

¹⁷ A performance ambiental é considerada um fluxo, mas a degradação ambiental associada pode gerar estoques, como é o caso da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Portanto, uma melhoria na performance ambiental em um determinado período pode não necessariamente indicar uma situação de melhoria nas condições ambientais em função dos estoques de degradação. Estes, por sua vez, podem ser de difícil reversão ou mesmo irreversíveis

não é possível definir *a priori* o formato da função matemática existente entre a dimensão econômica e degradação ambiental (fluxo e estoque).

Figura 2.2: Variáveis socioeconômicas e ambientais, escala e *performance* ambiental



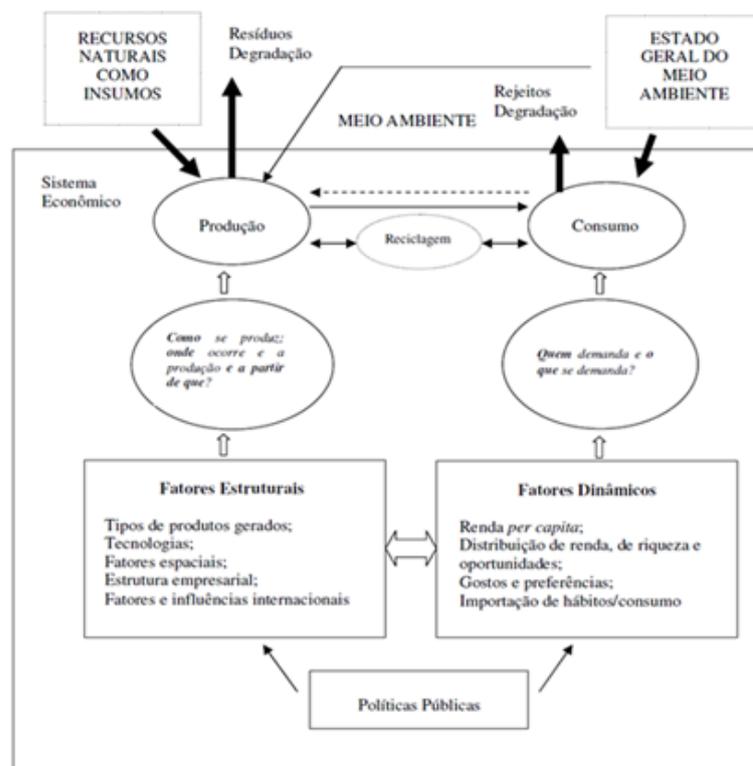
Fonte: Elaboração própria.

Economistas ecológicos argumentam que a degradação ambiental de um sistema econômico pode ser estudada por meio do conceito de escala econômico-ecológica. Esta, por sua vez, é determinada pelo estilo de desenvolvimento de uma determinada sociedade. Mueller (2007) define estilo de desenvolvimento como a forma com a qual a renda gerada e apropriada por diferentes segmentos da população (Figura 2.3). Os recursos naturais alimentam o sistema de produção e consumo, que se dão no ambiente disposto pelas condições naturais da localidade, e que por sua vez recebe a matéria e energia degradadas na forma de resíduos, rejeitos e poluição, visto que apenas parte do que sai das esferas de produção e consumo e que não viram mercadorias nem são absorvidos pelo uso, voltam a circular por meio da reciclagem.

Há fatores estruturais (como as tecnologias dispostas) e dinâmicos (como a estrutura de afluência econômica da população) que, conjuntamente, determinam a escala econômico-ecológica de uma sociedade, pois dita a forma como o capital se relacionará com o meio biofísico para atender às demandas mercadológicas. Tais fatores são influenciados pelas

políticas públicas que, estrategicamente ou de caráter “curto-prazistas”, têm o poder de direcionar esta escala para ser mais ou menos sustentável em relação ao meio biofísico. Isto pode ser feito, por exemplo, por meio de programas de incentivo ao consumo de massas por facilitação do crédito, por meio de fomento à pesquisa e desenvolvimento, programa de compras públicas e linhas de financiamento especiais para setores estratégicos, investimento em infraestrutura logística e energética, etc.

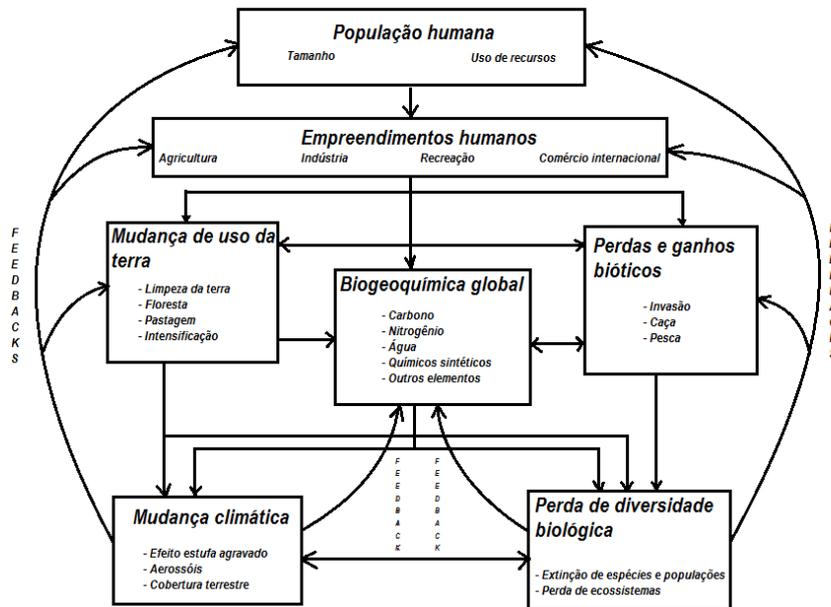
Figura 2.3: Relações entre sistema econômico e meio ambiente



Fonte: Mueller (2007, p.36).

No mesmo sentido, observa-se na Figura 2.4 a rede de propagação das características de uma população e sua afluência econômica sobre os ecossistemas globais. Percebe-se quão intrincados são os elos de interconexão, em que o sistema de produção e consumo impactam sobre a composição e forma de funcionamento dos ecossistemas, com impactos que vão se propagando pelas hierarquias em sistemas aninhados, até alcançarem níveis como de mudança climática e perda de biodiversidade, que retroalimentam negativamente todo o sistema, levando a impactos diferenciados de curto, médio e longo prazo.

Figura 2.4 Impactos populacionais e econômicos sobre os ecossistemas globais



Fonte: adaptado de Vitousek et al. (1997), com inclusão dos fluxos de “*feedbacks*” que não estavam no original.

É neste sentido que a Universidade de Yale desenvolveu um indicador chamado “*Environmental Sustainability Index*” (*ESI*), cujo objetivo maior é o de avaliar a sustentabilidade ambiental relativa a outros países, levando em consideração 21 elementos que abrangem dotações de recursos ambientais, níveis passados e atuais de emissão de poluentes, esforços de gestão ambiental, contribuições à proteção dos recursos globais comuns, e capacidade de melhorar sua *performance* ambiental ao longo do tempo.

A partir de um maior aprendizado e mais disponibilidade de informações, os desenvolvedores do *ESI* optaram por aperfeiçoar o indicador para o *EPI*, que utiliza, por sua vez, indicadores de resultados orientados, funcionando com um índice de referência que pode ser mais facilmente utilizado pelos *policy makers* e sociedade em geral. O *EPI* oferece um “*ranking* de notas” que destaca os líderes e retardatários na *performance* ambiental, dá ideias sobre melhores práticas, e provê guia para os países que almejam liderar neste âmbito. Os dados são divulgados bianualmente e estão disponíveis para o período 2006 a 2020 para um universo de 180 países. O indicador varia de 0 a 100, sendo que, quanto mais próximo de 100, melhor é a *performance* ambiental de um país.

Quadro 2.1: Estruturação do EPI (ponderação)

Saúde Ambiental (40%)		Vitalidade Ecológica (60%)	
Tema	Indicador	Tema	Indicador
Qualidade do ar (65%)	Excedente de material particulado (PM ₂₅) (30%)	Biodiversidade e Habitat (25%)	Áreas marinhas protegidas (20%)
			Proteção de bioma global (20%)
			Proteção de bioma nacional (20%)
Índice de proteção de espécies (20%)			
Índice de representatividade (10%)			
Índice de habitat de espécies (10%)			
	Exposição ao material particulado (PM ₂₅) (30%)	Florestas (10%)	Perda de cobertura florestal (100%)
	Combustíveis sólidos domésticos (40%)	Pesqueiros (10%)	Status do estoque de pescado (50%)
			Índice trófico marinho regional (50%)
Qualidade da água (30%)	Saneamento (50%)	Clima e energia (30%)	Total de emissões de CO ₂ (50%)
			Emissões de CO ₂ de energia (20%)
			Emissões de metano (20%)
			Emissões de N ₂ O (5%)
			Emissões de carbono negro (5%)
	Água potável (50%)	Poluição do ar (10%)	Emissão de SO ₂ (50%)
			Emissão de NO _x (50%)
Metais pesados (5%)	Exposição ao chumbo (100%)	Recursos hídricos (10%)	Tratamento de esgoto (100%)
		Agricultura (5%)	Gestão sustentável do nitrogênio (100%)

Fonte: 2018 EPI Framework.

Em sua última versão, apresenta 32 indicadores de *performance* ao longo de 11 categorias de interesse abrangendo saúde ambiental e vitalidade ecológica, que são

consideradas duas dimensões do desempenho ambiental. Entende-se que este, por sua vez, pode ser avaliado como o grau em que o crescimento econômico gera, ao mesmo tempo, recursos para investimentos e geração de renda, mas adiciona poluição e estresse aos habitats. A forma como o índice é ponderado está no Quadro 2.1.

Conforme afirmado por Hsu e Zomer (2014), o *EPI* tem como objetivo mover o debate ambiental de argumentos emocionais e retóricos para ações baseadas em dados e evidências que facilitam a busca de desempenho e responsabilidade dos tomadores de decisão. Hoje, este indicador se encontra entre as ferramentas mais disseminadas para comparação de *performance* ambiental também nos fóruns internacionais, inclusive para comparação no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Tendo em vista a infinidade de dados que são necessários para a confecção do índice e do universo de países considerados, um problema do *EPI* é quanto aos dados não encontrados, que torna vulnerável a comparabilidade entre os países ao longo do tempo. No entanto, ele se faz robusto por conseguir incorporar várias facetas da importância que se dá aos ecossistemas e a forma como a economia os impacta, o que se faz muito caro à economia ecológica e torna o *EPI* importante indicador de desempenho ambiental a se avaliar comparativamente ao socioeconômico, mensurado por diversas variáveis, como PIB *per capita*, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), Índice de Gini, etc., e outros indicadores de impacto ambiental (como emissões de poluentes e pegada ecológica). A Tabela 2.2 relaciona os dez países mais bem posicionados no ranking de *EPI*, além do Brasil, para o ano de 2020.

Boleti *et al.* (2021) debatem a respeito do quanto e em que sentido a complexidade econômica de um país explica sua *performance* ambiental. O autor utiliza o *ECI* como variável explicativa tanto para o *EPI* quanto para variáveis de estresse ambiental (CO₂ per capita, concentração de material particulado no ar – ambas como variáveis de qualidade do ar – e consumo de energia per capita). Como resultados, encontraram claro efeito preditivo do *ECI* para todas as variáveis, de modo que existe correlação positiva com o *EPI* e negativa com a poluição ambiental. O Gráfico 2.1 mostra que os pontos dispersos demonstram, quando linearizados, uma linha de tendência positiva entre as variáveis.

A sofisticação do tecido produtivo e a análise do conteúdo exportado pelas nações é variável premente na análise dos impactos ambientais do crescimento econômico e do desempenho ambiental, de modo que estruturas produtivas que estão mais desenvolvidas – no sentido de maior complexidade das indústrias, com exportações de produtos que se encontram

mais ao centro do “espaço de produto” – se encontram, também, com melhor desempenho nos indicadores de qualidade ambiental (BOLETI *et al.*, 2021).

Tabela 2.2 – Ranking EPI TOP 10 + Brasil em 2020

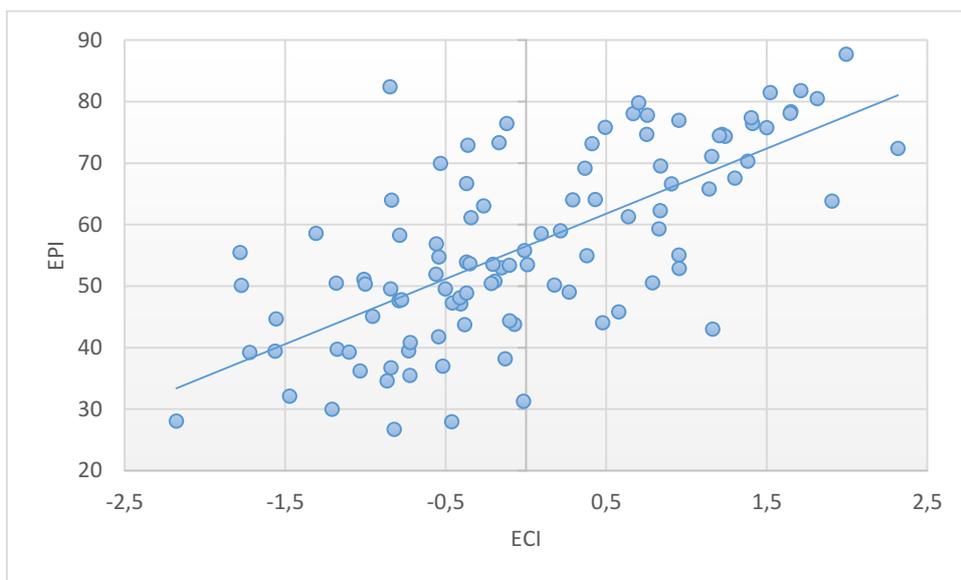
Posição	País	EPI
1º	Dinamarca	82.5
2º	Luxemburgo	82.3
3º	Suíça	81.5
4º	Reino Unido	81.3
5º	França	80
6º	Áustria	79.6
7º	Finlândia	78.9
8º	Suécia	78.7
9º	Noruega	77.7
10º	Alemanha	77.2
76º	Brasil	51.2

Fonte: elaboração própria a partir de Wendling, Z.A., Emerson, J.W., de Sherbinin, A., Esty, D.C., *et al.* (2020).

Boleti *et al.* (2021) partem da *noção de desenvolvimento econômico em que a mudança tecnológica assume papel central, junto ao path dependence e à cumulatividade de conhecimento*. Assim como Hartmann *et al.* (2017), os autores destacam que o ECI também apresenta relação positiva com melhor igualdade de renda e de economias mais inclusivas, sendo a industrialização importante *player* no crescimento de uma classe média por meio da criação de novos trabalhos e oportunidades de treinamento e educação para os trabalhadores. Por outro lado, este é um processo que degrada o ambiente, visto que é intensivo no uso de energia (predominantemente proveniente de combustíveis fósseis), de matéria-prima suprimida do meio ambiente, indutora do processo de urbanização, e que gera muitos resíduos sólidos e poluentes aéreos. Boleti *et al.* (2021) concluem o trabalho com a ideia de que estruturas

produtivas mais sofisticadas que se situam no centro das redes de comércio internacional de produtos tendem a apresentar performance ambiental significativamente maior que países na periferia da rede exportando produtos simples.

Gráfico 2.1: Dispersão entre *Economic Complexity (ECI) Index* e *Environmental Performance Index (EPI)* em 2014



Fonte: elaboração própria.

Analisando os trabalhos que tentaram, no plano empírico, estabelecer as relações entre complexidade econômica e performance ambiental, nota-se que a noção de *decoupling* ainda não foi suficientemente explorada como uma importante chave para se compreender os motivos pelos quais países de alta complexidade logram um bom nível de performance ambiental. Para além disso, não há uma apropriada diferenciação entre as duas dimensões relevantes do fenômeno de *decoupling* (impacto e recursos), discussão que será apresentada na subseção seguinte.

2.3.2 Complexidade econômica e degradação ambiental: aspectos teóricos e empíricos

Uma vez abordado o conceito formal de complexidade econômica e como ela é mensurada, há que se fazer uma ressalva com relação aos trabalhos que tratam a relação entre complexidade econômica e performance ambiental por meio do arcabouço da Curva de Kuznets

Ambiental. Corre-se o risco de se recorrer a visões otimistas de que a complexificação por si só conduziria uma nação a uma melhoria no seu desempenho ambiental. O problema deste tipo de conclusão é a desconsideração de dois aspectos fundamentais, há muito enfatizados pela literatura heterodoxa (novos-desenvolvimentistas e economia ecológica): (i) a complexificação não é um processo espontâneo de forças de mercado e, conforme mencionado, é um processo de médio e longo prazo, pressupondo planejamento estratégico e esforço deliberado de políticas; (ii) a degradação não deve ser vista apenas pelo lado dos fluxos, mas também pelo lado dos estoques. A redução dos fluxos não necessariamente eliminará o problema da degradação ambiental, sendo a emergência climática o maior exemplo.

Ocorre também que o estilo de desenvolvimento econômico experimentado pelas nações hoje consideradas desenvolvidas não poderá ser replicado pelas economias emergentes ao longo do século XXI, dadas as restrições impostas pela necessidade de limitar as emissões de poluentes, a extinção em massa da biodiversidade e a crescente demanda por aumento da qualidade ambiental e preservação do capital natural em vigor nos tempos atuais (SWART e GRAMKOW, 2020). Desta forma, são necessárias novas formas e desenhos de política que alcancem a elevação célere da complexidade econômica, trazendo prosperidade econômica e social e que ao mesmo tempo resulta em uma relação economia-meio ambiente mais conciliadora/regenerativa e menos predatória.

É necessário, portanto, ir além do aumento da eficiência material e energética: mudar a estrutura econômica de modo que valorize os “produtos verdes” e “investimentos verdes” e outros setores intensivos em conhecimento e tecnologia de fronteira. Conforme Mealy e Teytelboym (2018), um sistema produtivo complexo e com elevado número de capacidades produtivas oferece melhores condições para o desenvolvimento de inovações “verdes”, ou seja, para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que beneficiam o meio ambiente.

No século XXI, o desenvolvimento econômico precisa estar alicerçado em mudanças estruturais que levem simultaneamente à modernização do aparato produtivo e à mitigação das mudanças climáticas e os riscos a elas relacionados. Nas palavras de Swart e Gramkow (2020, p.6), *“there has been a shift from ‘there is a trade-off between economic growth and GHG emissions’ to ‘the transition to low-carbon, resilient economy can drive economic growth’”*. Neste sentido, as políticas que objetivam reconciliar o crescimento econômico à mitigação das emissões de gases de efeito estufa requerem o *“decoupling”* entre o desenvolvimento econômico e seu impacto ambiental. Adicionalmente, há que se “descasar”, ainda que

relativamente, o uso de recursos e a atividade econômica. Para tanto, o passo inicial é uma melhor compreensão entre da relação entre dinâmica econômica e degradação ambiental.

Neagu e Teodoru (2019) encontraram uma relação de longo prazo entre a complexidade econômica, a estrutura de consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa, dividindo sua análise em dois subgrupos: países de maior e de menor complexidade econômica, para os países componentes da União Europeia. A estrutura de consumo de energia diz respeito à participação dos combustíveis fósseis em relação ao total de fontes de energia. Os resultados demonstram que a influência desta estrutura é maior para os países de economias menos complexas, sugerindo haver um maior risco de poluição que acompanha o crescimento da sofisticação da estrutura produtiva conforme o balanço energético inclina em favor do consumo de fontes não renováveis de energia.

Dogan *et al.* (2019) analisam a relação do *ECI* sobre a degradação ambiental (emissão de CO₂) para três diferentes grupos de renda, tratados como *proxy* de estágios de desenvolvimento econômico. Como resultado, os autores verificaram que o *ECI* aumenta a degradação ambiental para os países de baixo e média renda, enquanto contribui para diminuir a emissão de CO₂ para os de alta renda. Neste sentido, é crucial que os primeiros grupos de países ajustem suas políticas industriais e produtivas atuais no sentido de promoverem crescimento econômico de forma conciliatória com a proteção ambiental. Também encontraram evidência empírica de que a abertura comercial, ao aumentar a demanda por produtos “*eco-friendly*” com elevada qualidade, permite transferência de tecnologia a este país, possibilitando a redução da emissão de poluentes.

Neagu (2019) inova ao incluir como variável explicativa a intensidade energética como determinante da emissão de CO₂, analisando-se os países da União Europeia. O teste de cointegração de painel indica uma relação de longo prazo entre a complexidade econômica, intensidade energética e emissões de CO₂, em que um aumento de 10% na intensidade energética leva ao aumento de 3,9% de poluentes emitidos. O autor também encontrou significância estatística para o termo quadrático do *ECI*, indicando uma curva em formato de U-invertido, tanto para o painel completo quanto para 6 países de forma separada. Conforme Wang *et al.* (2016), o controle da poluição se inicia em um país a partir da queda da intensidade energética de sua estrutura econômica, sendo este um indicador que avalia a eficiência no uso de energia em um país.

Neagu (2019) argumenta que, após o “*turning point*” do *ECI*, inicia-se um estágio de maior eficiência e eficácia no uso de recursos e quando bens mais complexos embutem maior

sofisticação e tecnologias menos poluentes. Há, neste momento, o aumento na taxa de retorno de investimentos em setores intensivos em conhecimento, capital humano, pesquisa e desenvolvimento e inovações em atividades relacionadas à geração de energia.

Por sua vez, Swart e Brinkman (2020), analisando o caso brasileiro, buscam encontrar relações entre a complexidade econômica e quatro variáveis de degradação ambiental: geração de lixo, focos de incêndios florestais, desmatamento e poluição do ar. O estudo foi conduzido para municípios, estados e regiões metropolitanas, adotando-se como hipótese que o termo quadrático do *ECI* seja estatisticamente significativo e de sinal negativo, enquanto em nível seria positivo, apresentando o formato de U-invertido. A complexidade econômica se mostrou negativa e significativa na explicação da quantidade de lixo gerada, o que pode significar uma maior participação do setor terciário (menos poluente que o industrial) nos municípios mais complexos e/ou de domínio de maior conhecimento sobre como tornar mais eficiente o uso de recursos e materiais, levando a menos resíduos. Por outro lado, o número de focos de incêndios florestais aumentou com a complexidade econômica, podendo indicar a busca por uso mais eficiente da terra, alterando seu uso para atividades mais lucrativas. A abertura comercial se mostrou importante tanto para a geração de menos resíduos sólidos e também de incêndios florestais. Por fim, a complexidade não se mostrou explicativa para o desmatamento e para a poluição do ar. Os autores ainda destacam a comprovação da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o PIB per capita (para o caso de geração de lixo), mas a um nível de renda per capita elevado para uma inversão da curva de degradação ambiental [cerca de R\$ 59.120 e R\$ 61.499 em valores constantes de 2000, sendo a renda per capita, para 2020, de R\$ 35.172 (IBGE (2021)]].

Romero e Gramkow (2020) estudaram a relação entre a complexidade econômica e a intensidade carbônica de um conjunto de 67 países para o período 1976-2012. Os autores oferecem duas contribuições a partir deste trabalho: há evidência estatística de que *ECI* e intensidade carbônica são negativamente correlacionados, sendo que o aumento de uma unidade do primeiro leva a redução de 23% da segunda no próximo período; e também propõem o *Product Emission Intensity Index (PEII)*, associado à produção de cada um de 786 produtos diferentes, o que torna possível analisar especificamente quais produtos são associados com maiores intensidades de emissão de poluentes, contribuindo para a formulação de políticas de “descarbonização” das economias. Os autores encontraram que o valor adicionado maior obtido de cada unidade de poluição em estruturas produtivas mais complexas e o tipo de tecnologia empregada nestes países são mais “limpas”, sejam pela eficiência energética ou pela matriz

energética mais baseada em fontes renováveis. Analisando o *PEII*, observa-se que a produção de bens mais complexos está associada a intensidades carbônicas menores.

Romero e Gramkow (2020) concluem que bens complexos são frequentemente mais sofisticados do ponto de vista tecnológico, apresentam maior valor agregado que estão relacionados com valores de mercado da produção mais elevados. Isto cria eficiência econômica no sentido de que maior valor econômico é obtido para cada unidade de poluente emitido, além do que as capacidades extravasam para outros setores, auxiliando tanto na redução da emissão de poluição quanto na eficiência produtiva e no estímulo ao desenvolvimento de inovações “verdes”.

Chu (2020) busca quantificar a relação entre a transformação da estrutura econômica e a performance ambiental, sendo que os resultados indicam que existe um limite, acima do qual o efeito da complexidade econômica sobre as emissões de CO₂ muda de positiva para negativa. Analisando os resultados por faixas de renda, observa-se que o aumento *ECI* leva a melhor desempenho ambiental para os países de alta renda, enquanto induz à degradação ambiental para os países de média e baixa renda. Portanto, maior sofisticação econômica não é sempre um fator de melhora para o meio ambiente, sendo essencial o desenho de políticas públicas que moldem a evolução da estrutura produtiva de forma focalizada para indústrias intensivas em conhecimento, sem necessariamente passar pela fase de aumento da intensidade poluidora, por exemplo, por meio da melhoria do *mix* de matérias-primas e energia na produção e uso de tecnologias mais amigáveis ao meio ambiente.

Uma ala dos pesquisadores que se dedicam à pesquisa sobre degradação ambiental destaca a necessidade de buscar um indicador que abranja outras dimensões dos impactos causados pela ação antrópica, para além da emissão de gases de efeito estufa, de modo a ter maior acurácia na abordagem do tema. Neste sentido, o indicador de pegada ecológica surge como importante alternativa, e tem sido utilizada por diversos trabalhos na fronteira da pesquisa [por exemplo, Destek *et al.* (2018), Udin *et al.* (2019), Dong *et al.* (2020), Yilanci e Pata (2020), Pata (2020), Dogan (2020), Shahzad *et al.* (2021)]. De forma geral, a complexidade econômica impacta diretamente na estrutura de consumo de energia de um país, na eficiência produtiva e na cesta de produtos em que o país apresenta maior competitividade (em especial, os mais intensivos em tecnologia e conhecimento), o que acaba por impactar a demanda de uso de recursos pela estrutura econômica (Figura 2.5).

O indicador de pegada ecológica, publicado pelo *Carbon Footprint Network*, expressa a quantidade total de recursos naturais consumidos por uma população e mensura a área de solo

e água produtivos necessários para possibilitar as atividades humanas e absorver os impactos que são gerados (LIN *et al.*, 2019). Portanto, são vistos como uma forma mais precisa de se avaliar a degradação ambiental quando comparado com a análise de emissão de gases de efeito estufa, visto que a pegada ecológica rastreia a demanda antrópica por recursos e serviços naturais (NEAGU, 2020).

Figura 2.5 – Relação complexidade econômica, consumo de energia e pegada ecológica



Fonte: adaptado de Shahzad *et al.* (2021).

Conforme a metodologia do *Carbon Footprint Network*, a biocapacidade indica a terra e água biologicamente produtiva disponíveis para ofertar as demandas de bens e serviços demandados por determinada população, e absorver seus resíduos. Já a pegada ecológica é subdividida em: derivada do consumo, da produção, e do comércio. A pegada ecológica do consumo diz respeito à demanda de biocapacidade devido ao consumo da população, enquanto a da produção se refere à demanda de biocapacidade engendrada pelos processos produtivos em uma determinada área, e seu componente carbônico se refere às emissões deste poluente a partir destes processos. Ademais, há a pegada ecológica da importação e da exportação, que indica o uso da biocapacidade relacionada ao comércio internacional. A pegada do consumo é a soma da pegada da produção e a pegada líquida do comércio internacional. Diz-se que um país apresenta déficit ecológico quando a pegada ecológica apresentada por sua estrutura produtiva e de consumo é maior do que a biocapacidade disponibilizada em seu território.

Neagu (2020) estuda a existência de relações entre a renda per capita, complexidade econômica, o consumo de combustíveis fósseis e a pegada ecológica de produção. O autor encontra relações estáveis de longo prazo entre as quatro variáveis, sendo que as três primeiras apresentam correlação positiva com a última, escolhida como variável de degradação ambiental, para o caso dos 48 países de maior *ECI*. Destaca-se aqui o resultado de que os países mais desenvolvidos apresentem a complexidade econômica como fator que aumenta a degradação ambiental, mesmo detendo as capacidades, capital financeiro e humano e conhecimento acumulado necessários para produção de bens altamente complexos e sofisticados, com estrutura produtiva diversa. Parece haver aqui uma divergência com relação à maioria dos trabalhos que apontam a complexidade econômico como benéfica para a redução da intensidade carbônica (*decoupling* de impacto), o que reforça a impressão de que há dinâmicas diferentes na ocorrência do descasamento de recursos e de impacto.

Neagu (2020) destaca, ainda, que 75% dos países de sua amostra apresentam déficit ecológico, sendo necessário que estes países, para alcançarem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2030, moldem suas estruturas produtivas no sentido de consumo mais limpo de energia, diminuição da intensidade material e carbônica, e estímulo à inovação em tecnologias “verdes” de ponta.

Quadro 2.2: Revisão da bibliografia empírica sobre o modelo STIRPAT

Autores	Região	Período	Variável dependente	Variáveis explicativas	Método de análise de dados	Resultados
Grabarczyke <i>et al.</i> (2016)	8 países altamente industrializados selecionados da OCDE	1900 a 2006	Intensidade de uso (Consumo de alumínio, zinco e chumbo em relação ao PIB)	PIB pc	Técnicas de estimação de cointegração não linear	Uma relação de cointegração do tipo Curva de Kuznets Material foi encontrada apenas para alguns países, como para o caso do Japão e Suíça no uso de alumínio.
Asici e Acar (2016)	116 países	2004-2008	Pegada ecológica da produção e das importações	Abertura econômica, biocapacidade, densidade populacional, participação da indústria em relação ao PIB, consumo de energia per capita, grau de rigidez da legislação ambiental e <i>enforcement</i> desta legislação	Painel de efeitos fixos	Maior rigidez e <i>enforcement</i> da legislação ambiental e aumento da renda per capita induzem à melhoria apenas as características da produção doméstica, enquanto que não influenciam sobre a decisão do “conteúdo de degradação embutido” nas mercadorias importadas; validade da CKA apenas para a produção doméstica, enquanto a renda per capita apresenta correlação positiva e monotônica com a pegada contida nos produtos importados
Gozgor (2017)	35 países da OECD	1960-2013	Emissões carbônicas per capita	PIB pc, consumo de energia pc e abertura comercial (índice de potencial comercial)	Estimação de dados em painel (<i>pooled mean-group</i>)	CKA é válida; efeito positivo do consumo de energia sobre emissão de CO ₂ , enquanto abertura comercial é negativamente associada à emissão de CO ₂

Can e Gozgor (2017)	França	1964-2011	Emissões de CO ₂	Consumo de energia e ECI	DOLS (Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos)	CKA válida para o caso francês tanto no curto quanto no longo prazo. Impacto positivo do consumo de energia sobre a emissão de CO ₂ no longo prazo e que maior complexidade econômica suprime a emissão de poluentes no longo prazo.
Gozgor e Can (2017)	Turquia	1971-2010	Emissões de CO ₂	PIB pc, PIB pc quadrático, consumo de energia e diversificação da exportação de produtos	DOLS (Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos)	Validade da CKA tanto no curto quanto no longo prazo; efeito positivo tanto do consumo de energia quanto da diversificação da cesta de exportação sobre as emissões de CO ₂ no longo prazo.
Aspergis <i>et al.</i> (2018)	19 economias desenvolvidas (alta renda)	1962-2010	Emissões de CO ₂	PIB pc, PIB pc quadrático, concentração da exportação	ARLD e testes de cointegração de painel e estimações de quantis do painel	Validade da CKA. Maior concentração de produtos de exportação conduziu a menor emissão de CO ₂ na maioria dos países.
Alvarenga e Sobrinho (2018)	G7 (países desenvolvidos) e BRICS (países em desenvolvimento)	1992 a 2013	Emissão de CO ₂	População total; PIBpc	Dados em painel	População com sinal positivo e significativo para ambos os grupos; PIBpc com sinal negativo para países do G7 e positivo para BRICS, denotando diferença do grau de eficiência produtiva e estrutura econômica
Destek <i>et al.</i> (2018)	15 países da União Europeia	1980-2013	Pegada ecológica total	PIB pc, PIB pc quadrático, consumo de energia de fontes renováveis per capita, abertura comercial	FMOLS, DOLS e <i>mean-group estimator</i>	CKA é válida; abertura comercial e consumo de energia de fontes renováveis per capita apresentam correlação negativa com a pegada ecológica, enquanto

						que consumo de energia de fontes não-renováveis per capita apresenta correlação positiva.
Wang e Dong (2019)	14 países da África Subsaariana	1990-2014	Pegada ecológica total	PIB pc, consumo de energia de fontes renováveis per capita, consumo de energia de fontes não-renováveis per capita, taxa de urbanização	FMOLS e <i>augmented mean-group regression</i>	Apenas consumo de energia de fontes renováveis per capita apresenta correlação negativa com a pegada ecológica, enquanto as outras três variáveis explicativas apresentam impacto positivo.
Destek e Okumus (2019)	10 países emergentes	1982-2013	Pegada ecológica per capita	PIB pc real, investimento direto estrangeiro (IDE) per capita, IDE per capita quadrático, consumo de energia per capita	Estimador efeitos correlacionados comuns	PIB pc e consumo de energia per capita são positivamente correlacionados com a pegada ecológica per capita; relação em U utilizando-se o IDE como variável explicativa para pegada ecológica.
Udin <i>et al.</i> (2019)	14 países asiáticos	1963-2015	Pegada ecológica per capita	PIB pc, PIB pc quadrático, PIB pc cúbico	MQO e MQO de longo prazo, com modelo de tendência de correção de erro aumentada	Há uma relação de cointegração de longo prazo estatisticamente significativa entre as variáveis para a maioria dos países; CKA é válida para alguns países, enquanto para os demais há uma correlação positiva entre PIB pc e pegada ecológica.
Boleti <i>et al.</i> (2021)	88 países desenvolvidos e em desenvolvimento	2002-2012	Qualidade do ar (emissões de CO ₂ e exposição a materiais particulados) e EPI	<i>ECI</i> , <i>ECI+</i> , PIB pc, abertura comercial, e diversas outras variáveis	Mínimos Quadrados em Dois Estágios com variáveis instrumentais e controlando os efeitos fixos	A mudança para níveis mais elevados de complexidade econômica levam a melhor performance ambiental e, portanto, que a sofisticação da produção não induz a piora da degradação; no entanto, o

						efeito do <i>ECI</i> sobre a qualidade do ar é negativo.
Neagu e Teodoru (2019)	25 países da União Europeia, subdivididos em dois grupos pelo grau de complexidade econômica	1995-2016	Emissões de CO ₂	<i>ECI</i> e participação dos combustíveis fósseis na estrutura de consumo de energia	FMOLS e DOLS	Complexidade econômica e estrutura de consumo de energia apresentam correlação positiva e estatisticamente significativa sobre a emissão de CO ₂ em todos os painéis analisados, mas com maior influência no subgrupo dos países menos complexos.
Neagu (2019)	25 países da União Europeia	1995-2017	Emissões de CO ₂	<i>ECI</i> , <i>ECI</i> quadrático e intensidade energética	Regressão de polinomial de integração, FMOLS e DOLS	CKA utilizando o <i>ECI</i> em substituição ao PIB pc se mostra válida para o conjunto de países assim como individualmente para 6 países; o aumento de 10% da intensidade energética leva ao crescimento de 3,9% da emissão de CO ₂
Dogan et al. (2019)	55 países, em 3 subgrupos de renda (alta, média-alta, e baixa)	1971-2014	Emissões de CO ₂	<i>ECI</i> , PIB pc, PIB pc quadrático, consumo de energia, taxa de urbanização e abertura comercial	Regressão de quantil de painel	CKA é válida apenas para o subgrupo de países de alta renda; o aumento da complexidade econômica e da abertura comercial impactam de forma diferenciada os subgrupos de renda: o <i>ECI</i> e a abertura comercial são negativamente correlacionado com as emissões de CO ₂ para os países mais ricos, enquanto maior <i>ECI</i> induz a degradação ambiental para os de média-alta e baixa renda, e maior abertura comercial diminui as emissões para aqueles e

						aumenta para estes, o que pode corroborar a existência de “refúgios de poluição”
Chu (2020)	118 países, em dois subgrupos: alta e média renda	2002-2014	Emissões de CO ₂	Emissão de CO ₂ no período anterior, <i>ECI</i> , <i>ECI</i> quadrático, PIB pc, qualidade institucional, formação bruta de capital fixo em relação ao PIB, valor adicionado pela indústria, e consumo de energia renovável	Método dos momentos generalizados (<i>GMM-system</i>)	<i>ECI</i> é positivamente relacionado com as emissões de CO ₂ e apenas quando a complexidade econômica alcança um certo ponto ($ECI \geq 1,2$), ela se prova efetiva na limitação desta degradação ambiental.
Can <i>et al.</i> (2020)	84 países em desenvolvimento	1971-2014	Emissões de CO ₂	Diversificação da cesta de exportação, margem intensiva e margem extensiva	ARDL, DOLS e FMOLS	Validade da CKA; diversificação geral, margem extensiva e margem intensiva apresentam efeitos positivos e significativos sobre as emissões de CO ₂
Swart e Brinkman (2020)	Brasil (municípios, estados e regiões metropolitanas)	2003-2011 (geração de lixo sólido) 2002-2014 (desmatamento) 2002-2009 (focos de incêndio florestal e poluição do ar)	Geração de lixo sólido; desmatamento; focos de incêndio florestal; e poluição do ar (vários índices)	<i>ECI</i> , <i>ECI</i> quadrático, PIB pc, PIB pc quadrático e variáveis de controle selecionadas (destaque para abertura comercial)	Geração de lixo sólido e poluição do ar (efeitos fixos); Desmatamento e focos de incêndio florestal (estimação de primeiras diferenças);	O aumento do <i>ECI</i> é associado com a diminuição da geração de lixo sólido, mas também com o aumento dos focos de incêndios florestais; não há associação com a taxa de desmatamento e poluição do ar.
Hu <i>et al.</i> (2020)	35 países desenvolvidos e 93 em desenvolvimento	1995-2014	Emissões de CO ₂	Diversificação da cesta de produtos importados e consumo de energia de fontes renováveis (%)	Efeitos comuns correlacionados (estimadores <i>mean group</i> e <i>augmented mean group</i>)	Diversificação da cesta de importação apresenta substancial impactos negativos e positivos sobre a emissão de CO ₂ , respectivamente, para as economias desenvolvidas e

						em desenvolvimento; consumo de energias de fontes renováveis apresenta efeito negativo sobre a emissão de CO ₂ , sendo este o único fator que apoia o último grupo de países a alcançar as metas de redução de emissões.
Romero e Gramkow (2020)	67 países	1976-2012	Intensidade carbônica (quiloton de CO ₂ por bilhões de dólares de produto)	<i>ECI</i> , <i>ECI_{t-1}</i> , abertura comercial, taxa de urbanização, consumo de eletricidade, PIB pc, população, educação, participação da agricultura e da indústria no PIB	Método dos momentos generalizados (<i>GMM-system</i>)	O aumento de um desvio padrão no <i>ECI</i> leva a uma redução de 23% nas emissões de CO ₂ por unidade de produto, no próximo período
Neagu (2020)	48 economias mais complexas	1995-2014	Pegada ecológica da produção	<i>ECI</i> , PIB pc e consumo de energia de combustíveis fósseis	Painel heterogêneo de países. FMOLS e DOLS	As 3 variáveis explicativas apresentam associação positiva no longo prazo com a pegada ecológica da produção; 75% dos países examinados apresentam déficit ecológico
Kosifakis <i>et al.</i> (2020)	126 países em 2 subgrupos de nível de desenvolvimento (medido pelo IDH)	2016	PIB pc, <i>EPI</i> , pegada ecológica per capita do consumo, pegada ecológica per capita da produção	<i>ECI</i>	<i>Cross-section</i> . Métodos não-paramétricos	Relação positiva entre <i>ECI</i> e PIB pc; <i>ECI</i> é positivamente relacionado com as variáveis de pegada ecológica, ao mesmo tempo que apresenta o mesmo comportamento com o <i>EPI</i>
Yilanci and Pata (2020)	China	1965-2016	Pegada ecológica per capita	<i>ECI</i> , PIB pc, consumo de energia per capita	Fourier ARDL	<i>ECI</i> e consumo de energia per capita aumentam a pegada ecológica per capita tanto no curto quanto no longo prazo;

						elasticidade de curto prazo do PIB pc é menor do que a de longo prazo, sendo que a CKA não é válida.
Pata (2020)	Estados Unidos da América	1980-2016	Pegada ecológica per capita e emissões de CO ₂	<i>ECI</i> , <i>ECI</i> quadrático, consumo de energia de fontes renováveis per capita, consumo de energia de fontes não-renováveis per capita, índice de globalização agregada	FMOLS, DOLS e estimador de regressão de cointegração canônico	Validade da CKA utilizando-se <i>ECI</i> como variável explicativa; consumo de energia de fontes não-renováveis per capita contribuem para o aumento da degradação ambiental, enquanto maior globalização e consumo de energia de fontes renováveis per capita contribuem para redução desta.
Shahzad <i>et al.</i> (2021)	Estados Unidos da América	1965-2017	Pegada ecológica	<i>ECI</i> , consumo de energia de fontes fósseis	QARDL	Ambas variáveis independentes são positivamente correlacionadas com a pegada ecológica; existência de relações causais entre <i>ECI</i> e consumo de energia com a pegada ecológica

Fonte: elaboração própria.

2.3.3 Decoupling, *complexidade econômica e performance ambiental*

De forma simplificada, UNEP (2011) conceitua o *decoupling* como sendo a redução – absoluta ou relativa – do montante de recursos naturais utilizados para gerar crescimento econômico e a desconexão do desenvolvimento econômico da degradação ambiental. Por meio da utilização de inovações tecnológicas, institucionais e organizacionais, combinado ao processo de acelerada urbanização, encontra-se um ambiente de oportunidade histórica para colocar a ideia do *decoupling* em prática, de modo que o crescimento econômico, em suma, não comprometa a sustentabilidade socioeconômica e ambiental no longo prazo. Para acontecer, o *decoupling* requer mudanças significativas nas políticas governamentais, no comportamento das companhias e de padrões de consumo pelo público; mudanças estas que precisam ser *induzidas* por políticas estratégicas para que o mercado responda positivamente neste sentido.

Tecnicamente, realizar o *decoupling* significa diminuir a intensidade no uso de recursos por unidade de produto econômico e a redução do impacto ambiental de qualquer recurso que é utilizado ou atividades econômicas que são empreendidas. Como pode-se observar na Figura 2.6, o *decoupling* de recursos (ou “de entrada”) ocorre quando há aumento da produtividade destes recursos, ou seja, o produto da atividade econômica (PIB) aumenta de forma mais acelerada em relação ao consumo de matéria e energia de baixa entropia, que alimenta todo o sistema econômico. Assim, há a diminuição do uso de matérias-primas (por exemplo, minérios metálicos), energia (por exemplo, petróleo e carvão mineral), água e de área de terra agriculturável para o mesmo montante de produto econômico (por exemplo, diminuição da relação kg de minério de ferro/US\$ de valor agregado) (UNEP, 2011).

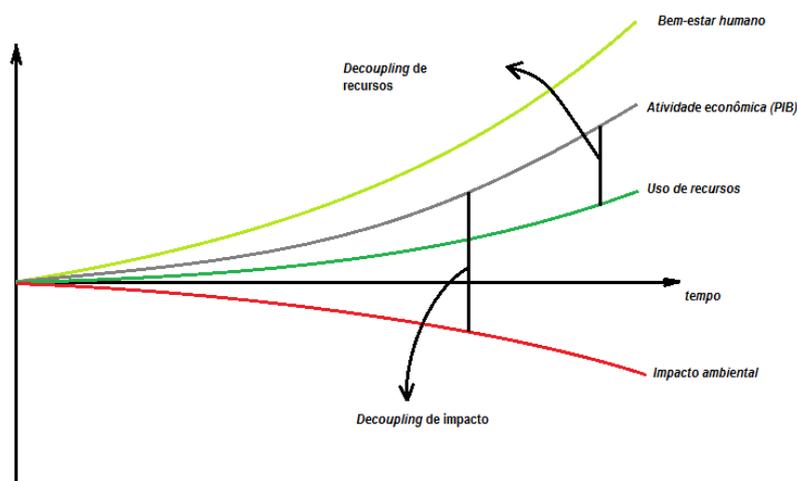
Por sua vez, o *decoupling* de impacto ambiental (ou “de saída”) acontece com o aumento da eficiência, ou seja, há diminuição da geração de poluição e resíduos, por exemplo, ao tempo que o produto econômico aumenta. Estes impactos ambientais surgem desde a fase de extração dos recursos naturais, na produção e uso das mercadorias, e na fase pós-consumo (geração de resíduos).

Estes dois aspectos do *decoupling* podem, por sua vez, se apresentarem de maneira absoluta ou relativa. O *decoupling* absoluto – que é raro de ser encontrado – ocorre quando o uso de recursos ou a geração de impacto diminui, independentemente da taxa de crescimento da produção econômica. Para acontecer, é necessário que a taxa de crescimento da produtividade do recurso/impacto exceda a taxa de crescimento do PIB desta economia. Por

sua vez, o *decoupling* relativo – mais comum – se dá quando a taxa de crescimento do parâmetro ambiental relevante é menor do que a taxa de crescimento do parâmetro econômico, ou seja, a relação é positiva, mas a elasticidade é menor que um (UNEP, 2011). Conforme demonstra Parrique *et al.* (2019, p.5), o *decoupling* é multifacetado, visto que

“It can be global or local, relative or absolute, territorial- or footprint-based, happen over a short or a long period of time, and last but not least, it should be put in perspective with relevant environmental thresholds, political targets and the global socio-economic context, as to assess its adequacy in magnitude taking into account equity considerations.”

Figura 2.6: Dois aspectos do *decoupling*



Fonte: UNEP (2011).

É interessante observar que os países considerados mais complexos (por exemplo, 20 países melhor ranqueados quando ao *ECI* – Tabela 2.3) são também aqueles que mais sucesso tiveram em reduzir sua intensidade carbônica conforme atesta o *Low Carbon Economic Index* (PwC, 2019) e dados do *Global Carbon Atlas*. Simultaneamente, os países de complexidade mais baixa (aqui selecionados os TOP 20 com menores *ECI*, e para os quais também há dados disponíveis sobre a evolução da intensidade carbônica) avançam pouco – ou mesmo retrocedem – em termos da redução da intensidade carbônica. A Tabela 2.3 abaixo mostra que a média de redução na intensidade carbônica entre os anos de 2000 e 2018 nos países mais complexos foi de 40%. A tabela 2.4 mostra que entre os países menos complexos houve uma elevação média de 11% e também maior volatilidade neste indicador. Parece haver, portanto, uma lógica clara:

maior complexidade econômica aumenta a capacidade de um país em realizar o *decoupling* de impacto, muito embora não se possa afirmar isto do ponto de vista do *decoupling* de recursos, pois países de maior complexidade continuam a ter uma pegada ecológica bastante elevada. Este tema será teórica e empiricamente aprofundado na subseção 2.4.

Tabela 2.3: TOP 20 países de maior ECI e variação da intensidade material e da intensidade carbônica

País	ECI (2017)	Variação da intensidade material – Kg.PIB-1 (2000-2015, %)	Variação da intensidade carbônica - kg CO2.PIB ⁻¹ (2000-2018, em %)
Japão	2.30938	-17.8	-20.7
Suíça	2.24386	20.6	-38.5
Alemanha	2.07537	-6.9	-32.2
Cingapura	1.86534	-9.7	-64.5
Suécia	1.80773	18.5	-49.2
Coréia do Sul	1.77613	-22.1	-24.0
Estados Unidos da América	1.75541	-22.4	-35.4
Finlândia	1.70679	6.9	-35.1
República Tcheca	1.6431	-3.7	-49.0
Áustria	1.62894	14.1	-21.0
Reino Unido	1.53259	-25.5	-50.7
Eslovênia	1.4319	1.1	-37.7
Irlanda	1.40023	-37.8	-63.0
França	1.38964	-2.9	-34.4
Hungria	1.38444	7.0	-43.3
Eslováquia	1.3402	-13.0	-56.9
Israel	1.3146	-27.1	-40.2
Holanda	1.30343	5.4	-26.4
Dinamarca	1.1577	-2.3	-46.8
Itália	1.11743	12.6	-30.0
Variação média		-5,3	-40,0

Fonte: elaboração própria, calculado com base nos dados do *The Observatory of Economic Complexity, Global Carbon Atlas e International Resource Panel*.

Esta mesma lógica parece prevalecer quando se observa os dados a respeito da pegada material por unidade de PIB, ou seja, a intensidade material, que é um indicador de *decoupling* de recursos. Há, no entanto, uma diferença significativa. Para os países mais complexos, mesmo que haja, na média, uma redução neste indicador, sugerindo maior eficiência no uso dos

recursos, a diminuição foi significativamente menor quando comparado ao *decoupling* de impacto: uma redução média de apenas 5,3% primeiro caso contra 40% de queda para o segundo caso. Os países menos complexos apresentaram o mesmo padrão de comportamento em ambas situações: na média, estes países não mostraram melhoras nem no *decoupling* de recursos nem no de impacto.

Tabela 2.4: TOP 20 países com menor ECI e variação de intensidade carbônica

País	ECI (2017)	Variação da intensidade material – Kg.PIB-1 (2000-2015, %)	Variação da intensidade carbônica - kg CO2/PIB (2000-2018, em %)
Nigéria	-1.90268	-27.0	-45.7
Bangladesh	-1.71442	-32.1	11.3
Sudão	-1.45787	NA	87.2
Camboja	-1.37692	-15.7	40.4
Nicarágua	-1.33756	-19.7	-18.2
Angola	-1.3177	-4.1	23.7
Etiópia	-1.27445	24.5	-9.2
Moçambique	-1.24908	-40.5	82.4
Gabão	-1.22477	5.0	-25.7
Turcomenistão	-1.19506	-26.6	-48.8
Gana	-1.15388	2.4	0.1
Tajiquistão	-1.10384	118.0	-34.8
Bolívia	-1.07744	-19.9	-6.2
Tanzânia	-1.01705	-40.9	50.8
Camarões	-1.01371	-12.5	14.4
Iêmen	-0.97195	100.9	-16.9
Líbia	-0.96543	173.6	52.8
Equador	-0.93323	8.2	7.6
Sri Lanka	-0.90159	-1.4	-6.8
República do Congo	-0.89809	-39.4	68.2
Variação média		8,0	11,3

Fonte: elaboração própria, calculado com base nos dados do *The Observatory of Economic Complexity, Global Carbon Atlas e International Resource Panel*.

No caso dos países mais complexos, é interessante notar que todos apresentaram redução na intensidade carbônica entre 2000 e 2018. A adoção maciça de políticas de carbono para substituir fontes de energia fóssil por fontes renováveis pode explicar isto, principalmente na Europa, um continente comprometido com uma redução de 55% das emissões até 2030 e

neutralidade climática até 2050. Em geral, A intensidade carbônica de uma economia pode ser reduzida por duas vias: (i) por meio da mudança dos processos produtivos atuais no sentido de serem mais eficientes, em especial, no consumo de energia; (ii) mudar a composição setorial da economia, levando a estrutura no sentido da produção de bens que apresentem, na média, um nível mais baixo de emissão de poluentes; e (iii) pela substituição de fontes de energia fósseis por fontes de energia renováveis (principalmente solar e eólica. Em todos os casos, estas mudanças não ocorrem espontaneamente, e políticas industriais e de inovação precisam estar ajustadas com as metas ambientais estabelecidas.

De acordo com PwC (2020), apesar dos avanços em relação à descarbonização da economia global, em 2018, a taxa deste *decoupling* de impacto foi de 1,6%, menos da metade da taxa anual acordada no Acordo de Paris, de 3,3% a.a. Os autores estimam que a taxa anual necessária de descarbonização até 2030 seria de 3% para os países do G20, sendo que para alcançar o objetivo de limitar o aquecimento global em 2100 em até 1,5 °C seria necessária taxa anual de 11,3%, e para 2,0 °C, de 7,5%. Em 2018, houve aumento das emissões globais em 2%. Estes dados demonstram que o sistema econômico ainda não caminha satisfatoriamente no sentido do *decoupling* carbônico, tão enfatizado em sua importância pela UNEP para se alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Antropoceno.

Ainda neste âmbito da mensuração do desenvolvimento econômico, conforme Lawn (2001), Daly (2005) e Romeiro (2012), a escala ecologicamente sustentável deve ser entendida como primeiro limitador para o espaço em que ocorrerá o crescimento econômico, sendo que a eficiência alocativa e a justa distribuição de renda, dentro da noção de desenvolvimento sustentável, devem partir desta primeira adequação. A escala ótima é aquela que equilibra os benefícios e os custos ambientais, e pode estar abaixo da escala econômica que seria desejada sem o respeito às incertezas ecossistêmicas. Seria possível pensar, na perspectiva de Georgescu-Roegen (1971) e Daly (1991) na condução da economia para um futuro estado estacionário e até mesmo de “decrecimento” econômico, necessário para adequar o tamanho e qualidade do subsistema Economia dentro das capacidades da biosfera.

Aqui, a noção de desenvolvimento econômico se aproxima mais à de “desenvolvimento como liberdade” (SEN, 1999). O progresso civilizatório deve ser observado para além das medidas de renda e riqueza, passando a incorporar, além do PIB, as esferas sociais e ambientais. Portanto, é indissociável das noções de melhorias de oportunidades de ascensão social, de condições de saneamento, de educação, saúde e demais serviços básicos.

O desenvolvimento socioeconômico é, em suma, um processo de se alcançar a dignidade da vida humana sem comprometer a estrutura biofísica no longo prazo. O crescimento econômico, para ser sustentável, deve respeitar a resiliência dos ecossistemas e os limites planetários, ou seja, a noção de escala econômica e de transumo deve caber dentro da capacidade de absorção saudável da biosfera. O processo de desenvolvimento econômico é irrestrito, mas não do ponto de vista material: é tido, sobretudo, como um processo de evolução do capital físico, mas principalmente do humano e da valoração do natural.

2.4 Investigação empírica sobre o *decoupling* de impacto e *decoupling* de recursos

O objetivo, nesta seção, é investigar o comportamento de diferentes variáveis que caracterizam a intensidade da degradação ambiental e a forma como se relacionam com a variação da complexidade econômica dos países (*ECI* e *ECI* ao quadrado), de forma principal, e com variáveis que representem a abertura comercial (*TRADE*), o fluxo de investimentos estrangeiros direto (*FDIinflux*) e o grau de liberdade econômica dos países (*FREEDOM*) como *proxy* para qualidade institucional. Para além disso, foram selecionadas variáveis de controle conforme o modelo *STIRPAT* e revisão da literatura empírica (seção anterior). Para isto, como variáveis dependentes, conforme Quadro 2.3, seguindo o ponto de vista da economia ecológica de análise dos fluxos de entrada e saída de matéria e energia do subsistema econômico para avaliação de seu desempenho ambiental, foram selecionadas tanto variáveis que pudessem capturar o fenômeno de *decoupling* de recursos (*IntDMC*, *IntMFoot* e *IntENERUSE*) quanto o *decoupling* de impacto (*IntCO2*, *IntCO2eq* e *IntCO2cons*).

Quadro 2.3: Descrição das variáveis

Variável	Tipo de variável	Descrição	Unidade de medida	Fonte	Sinal esperado e referências bibliográficas
IntDMC	Dependente (<i>decoupling</i> de recurso)	Intensidade do consumo doméstico de materiais	Kg por US\$ (base em 2010)	International Resource Panel	-
IntMFoot	Dependente (<i>decoupling</i> de recurso)	Intensidade da Pegada material	Kg por US\$ (base em 2010)	International Resource Panel	-
IntENERUSE	Dependente (<i>decoupling</i> de recurso)	Intensidade do uso de energia	Kg de óleo equivalente por US\$ (base em 2010)	IEA Statistics	-

IntCO2	Dependente (<i>decoupling</i> de impacto)	Intensidade da emissão territorial de CO ₂	Kg de CO ₂ por US\$ (base em 2010)	Friedlingstein <i>et al.</i> (2020)	-
IntCO2eq	Dependente (<i>decoupling</i> de impacto)	Intensidade da emissão territorial total de gases de efeito estufa (em equivalentes de CO ₂)	Kg de CO ₂ equivalente por US\$ (base em 2010)	World Bank Database	-
IntCO2cons	Dependente (<i>decoupling</i> de impacto)	Intensidade da emissão de CO ₂ pela ótica do consumo	Kg de CO ₂ por US\$ (base em 2010)	Metodologia de Peters <i>et al.</i> (2012) e Peters <i>et al.</i> (2011) e dados de Friedlingstein <i>et al.</i> (2020)	-
ECI	Independente – de interesse	Índice de Complexidade Econômica	Unidade, de - 3,0 a +3,0	The Atlas of Economic Complexity	Positivo, para países menos complexos e negativo, para os mais complexos. [Romero e Gramkow (2020), Honma (2015), Grabarczyk <i>et al.</i> (2016), Destek e Okumus (2019), Shahzad <i>et al.</i> (2021)]
ECI ²	Independente – de interesse	Termo quadrático do Índice de Complexidade Econômica	Unidade, de 0 a 9,0	The Atlas of Economic Complexity	Positivo, para países menos complexos e negativo, para os mais complexos. [Boleti <i>et al.</i> (2021), Dogan <i>et al.</i> (2019), Swart e Brinkman (2020), Romero e Gramkow (2020), entre outros]
TRADE	Independente – de interesse	Abertura comercial (corrente de comércio)	Percentual sobre o PIB	World Bank Database	Positivo, para países menos complexos [Destek e Okumus (2019)]
FDInflow	Independente – de interesse	Entrada de Investimento Estrangeiro Direto (IED)	Percentual sobre o PIB	World Bank Database	Negativo, para todos os países [Ben Zineb (2016), Chu (2020)]
FREEDOM	Independente – de interesse	Índice de Liberdade Econômica	0 a 100	The Heritage Foundation	Positivo para países menos complexos [York <i>et al.</i> (2003a), York <i>et al.</i> (2003b), Silva <i>et al.</i> (2015), Shahbaz <i>et al.</i> (2015), Uddin <i>et al.</i> (2016), Romero e Gramkow (2020)]
AGRIC	Independente – de controle	Setor de agropecuária	Percentual sobre o PIB	World Bank Database	Positivo para países menos complexos [Romero e Gramkow (2020)]
SERVICE	Independente – de controle	Setor terciário	Percentual sobre o PIB	World Bank Database	Negativo para todos os países
FBCF	Independente – de controle	Formação bruta de capital fixo	Percentual sobre o PIB	World Bank Database	Positivo para países menos complexos e negativo para países mais complexos [Chu (2020), Boleti <i>et al.</i> (2021), Mealy e Teytelboym (2020) e Romero e Gramkow (2020)]
REC	Independente – de controle	Consumo de energia renovável	Percentual do consumo final total de energia	World Bank Database	Negativo para todos os países [Destek <i>et al.</i> (2018), Wang e Dong (2019), Chu (2020), Hu <i>et al.</i> (2020) e Pata (2020)]

FFC	Independente – de controle	Consumo de energia de combustíveis fósseis	Percentual do consumo final total de energia	World Bank Database	Positivo para todos os países [Neagu e Teodoru (2019), Neagu (2020), Pata (2020) e Shahzad <i>et al.</i> (2021)].
ENERUSE	Independente – de controle	Uso de energia per capita	Kg de óleo equivalente per capita	World Bank Database	Positivo para todos os países [Dogan <i>et al.</i> (2019) e Yilanci and Pata (2020)]

Fonte: elaboração própria.

Para maiores detalhes de como são calculadas as variáveis, vide Anexo II. A justificativa para a utilização destas duas categorias de variáveis dependentes está na tentativa de testar empiricamente se a complexidade econômica tem impactos diferentes na ocorrência e na velocidade destes dois tipos de *decoupling* (recurso e impacto) como sugerido pela análise da seção anterior. Em outras palavras, a contribuição pretendida com esta análise empírica é testar a hipótese de que a complexidade econômica possui efeitos diferenciados sobre a performance ambiental dos países ao se olhar separadamente para o *decoupling* de recursos e *decoupling* de impacto. Testar tal hipótese se faz necessário para qualificar melhor o debate e evitar interpretações superficiais de que a complexidade econômica por si só poderia ser o caminho natural para incrementar **de maneira geral** a performance ambiental dos países. Trata-se, ainda, de uma contribuição importante aos estudos sobre o nexos entre complexidade econômica e performance ambiental.

A utilização destas duas categorias de variáveis (ligadas, de um lado, ao *decoupling* de recursos, e, de outro, ao *decoupling* de impacto) faz com que esta análise rejeite a ideia de que performance ambiental é um termo genérico e geral. Ao contrário, investigar os determinantes da performance ambiental dos países requer a distinção entre melhorias ambientais ligadas à redução no uso dos recursos (*decoupling* de recursos) ou à redução dos impactos gerados pelo uso destes recursos (*decoupling* de impacto).

Por fim, é importante salientar que o *decoupling* de impacto pode acontecer tanto do lado da produção (redução das emissões por valor de unidade produzida) quanto pelo lado do consumo (redução das emissões ocorrida no consumo). Já o *decoupling* de recursos pode apenas ocorrer do lado da produção, já que, por definição, o *decoupling* de recurso é o descasamento entre produção e utilização de recursos.

É importante, ainda, fazer um destaque. As variáveis IntDMC, IntENERUSE, IntCO₂, IntCO₂eq caracterizam a intensidade de degradação ambiental que um país apresenta pela produção econômica dentro de seu território, seja esta para consumo interno ou para exportação.

Por outro lado, as variáveis *IntMFoot* e *IntCO2cons* se referem à intensidade de degradação ambiental refletida pelo consumo final de mercadorias da população de um país, seja ela produção nacional ou importada. Esta diferenciação se faz importante para verificar-se a diferença do padrão de produção e de consumo das populações dos diferentes países. Por exemplo, países de elevada complexidade econômica, como Suíça, podem apresentar baixa intensidade nas variáveis relacionadas à produção (visto serem especializados na produção de elos de elevado valor agregado e tecnológico nas cadeias globais de valor), mas elevada quando se observa o padrão de consumo (e o conteúdo material, energético e carbônico embutido nesta produção); por outro lado, países que funcionam como plataformas de exportação, como Vietnã, Indonésia, Malásia e, até mesmo, China, podem ao mesmo tempo apresentar elevada intensidade material e energética em seus sistemas produtivos (elos de menor valor agregado nas cadeias globais de valor) e baixa intensidade no seu padrão de consumo (baseado em uma cultura oriental que valoriza menos o “consumismo” de mercadorias). Buscou-se, ainda, extrair informações sobre a importância do comércio internacional e da transformação da estrutura produtiva em diferentes estágios.

Como estratégia para abordagem empírica deste ensaio, optou-se por buscar o maior número possível de países e maior período de tempo, dadas as variáveis de interesse. Deste modo, foram coletados dados anuais para um conjunto de 115 países para o período de 1995 a 2015, perfazendo a estrutura de um painel de dados curto.

Optou-se pela estratégia de subdividir a base de dados em duas partes: países mais complexos e países menos complexos. Para tanto, calculou-se o valor médio do ECI para cada país para o período de 1995-2015, sendo a amostra dividida exatamente pela mediana dos valores médios do ECI (que foi incluída entre os países menos complexos; mediana do ECI = - 0,10974). Portanto, a subamostra de países menos complexos é constituída de 58 países, enquanto a de países mais complexos, de 57 (vide lista de países no Anexo III). O objetivo com esta análise é o de capturar efeitos particulares dos regressores sobre as variáveis de impacto em diferentes estágios do desenvolvimento econômico (mais e menos complexos).

A forma funcional para o modelo econométrico, portanto, é a seguinte (Equação 9):

$$IntDA = f(ECI, ECI^2, TRADE, FDIinflux, FREEDOM) \quad (9)$$

Sendo a *IntDA* qualquer das variáveis de intensidade de degradação ambiental. Nesta função encontram-se apenas as variáveis de interesse, sendo que várias variáveis de controle. As

demais variáveis explicativas e a relação esperada com as variáveis dependentes estão explicadas abaixo, levando-se em conta a divisão da amostra em países de maior e menor complexidade.

- **ECI (Índice de Complexidade Econômica)**: espera-se que apresente correlação positiva com as variáveis de intensidade material, energética e de poluição para os países menos complexos, tendo em vista que a demanda por estabelecimento da infraestrutura logística, urbana, energética, industrial, social, etc., necessária na evolução do processo de desenvolvimento é altamente intensiva em matéria e energia de baixa entropia e, por consequência, de poluição. Já para os países mais complexos, espera-se que, a partir de determinado nível de complexidade, aumentos adicionais levem a *decoupling* relativo do crescimento econômico visto que as sociedades intensificam o consumo baseado em serviços, entretenimento, lazer, conhecimento, e de alto teor tecnológico embutido. Em especial, espera-se que o processo de *decoupling* de impacto seja maior (apresente maior velocidade de ocorrência) do que o *decoupling* de recurso, seguindo os resultados preliminares encontrados na seção anterior. Esta é uma inovação desta tese, tendo em vista que não se encontrou, ainda, bibliografia que fizesse tal comparação. Alguns trabalhos demonstram a ocorrência de algum *decoupling* de impacto para os países mais complexos [por exemplo, Romero e Gramkow (2020)] e resultados ambíguos para o *decoupling* de recursos [por exemplo, Honma (2015), Grabarczyk et al. (2016), Destek e Okumus (2019), Shahzad et al. (2021)]. O termo quadrático está presente para se testar a hipótese de CKA, ou seja, se há mudança de sinal na relação entre o desenvolvimento econômico e a degradação ambiental a partir de um “*turning point*” de complexidade econômica.

- **TRADE (abertura comercial)**: para os países menos complexos, maior abertura comercial pode levar à redução da intensidade da degradação ambiental no caso de predominância dos efeitos de ganho de eficiência pela importação de tecnologias, em relação aos efeitos da hipótese dos refúgios de poluição¹⁸ (atração de empresas devido a menor regulação ambiental). Para os países mais complexos, espera-se que o comércio internacional melhore seu padrão de intensidade (menos degradação), visto que tendem a induzir a mudança de setores mais intensivos em materiais e poluição para países menos complexos, mantendo o controle de elos das cadeias globais de valor que estão nas pontas (pesquisa e desenvolvimento, estabelecimento de patentes, elos de agregação de valor de maior teor tecnológico, desenvolvimento de

¹⁸ Conceito detalhado na subseção 1.4 do Ensaio 1. Exemplos de trabalhos empíricos são Ben Zineb (2016) e Dogan et al. (2019).

softwares, serviços de marketing e vendas, etc.) [com base em Boleti et al. (2021), Dogan et al. (2019), Swart e Brinkman (2020), Romero e Gramkow (2020), entre outros].

- **FDIinflow (entrada de investimento direto estrangeiro)**: para confirmar a hipótese de refúgios de poluição, espera-se que esta variável apresente sinal positivo em relação às variáveis de intensidade de degradação ambiental no caso dos países menos complexos, visto que a entrada do capital estrangeiro traria atividades mais poluidoras vindas de nações mais desenvolvidas na busca por oportunidades de redução de custos de produção, em especial por uma política ambiental menos restritiva [por exemplo, Destek e Okumus (2019)]. Já pela hipótese de Porter¹⁹ e da CKA, a entrada de tecnologias importadas por meio destes investimentos levaria a impacto negativo, de redução da intensidade das variáveis de produção, em especial. Um complicador na interpretação desta variável é que ela engloba os fluxos de capitais de curto prazo, potencialmente especulativos, desde que relacionados à aquisição do gerenciamento duradouro (10 por cento ou mais das ações ordinárias) em uma companhia operando em um país que não seja a de origem do investidor.

- **FREEDOM (indicador de liberdade econômica)**: espera-se que esta variável seja relevante (também no valor do coeficiente), no sentido que a evolução das instituições para promoção de maior liberdade econômica aos agentes provoca uma evolução estrutural, com maior entrada de tecnologias mais eficientes, maior concorrência, legislação ambiental mais aperfeiçoada, de modo que o sistema econômico alcançaria maior *decoupling* em todos os aspectos da degradação ambiental [Ben Zineb (2016), Chu (2020)]. Espera-se também menor variabilidade (e significância estatística), para os países mais complexos, visto que já apresentam, de partida, elevado grau de liberdade econômica como um padrão. Tal índice é uma ponderação de 12 fatores quantitativos e qualitativos, agrupados em 4 pilares amplos de liberdade econômica, quais sejam: Estado de Direito, Tamanho do Governo, Eficiência Regulatória e Abertura dos Mercados. Neste trabalho, se assume a possibilidade de haver melhoria da liberdade econômica sem, necessariamente, se defender uma Estado sem atuação por meio de políticas fiscais ativas de estímulo estratégico à economia. Um Estado moderno, inovador, deve prover um ambiente de elevada competitividade para prosperidade dos agentes econômicos, mas também agir de forma estratégica para adensamento de cadeias produtivas de elevado valor agregado em setores promissores, como os ligados à economia das mudanças climáticas no Antropoceno. Esta

¹⁹ Conceito detalhado na subseção 1.4 do Ensaio 1 (referências são GILL et al. (2018), Porter (1991), Porter e Linde (1995) e Queiroz (2012).

melhoria na liberdade econômica será capturada pela FREEDOM como indicador de melhoria desta relação entre Estado e atores econômicos.

- **URB (taxa de urbanização)**: espera-se que a urbanização haja de modo a intensificar a degradação ambiental, visto que processos de instalação de infraestrutura urbana e as tecnologias agregadas pela população que reside em cidades são intensivas em energia e materiais. Entretanto, um efeito indireto do desenvolvimento é que, a partir de certo ponto, com elevado nível de urbanização, países de elevada complexidade econômica demonstrem diminuição da intensidade de degradação a partir de maior urbanização, tendo em vista já terem realizado a implantação de infraestrutura urbana (logística, saneamento, energética); espera-se, por outro lado, queda da IntCO₂eq, visto que há, nas cidades, pressão por maior controle da qualidade local do ar para aqueles poluentes de efeito mais localizado (como concentração de materiais particulados e emissão de SO₂ (um dos principais geradores de “chuva ácida”). Esta é uma variável de controle padrão nos trabalhos que aplicam o modelo STIRPAT [por exemplo, York et al. (2003a), York et al. (2003b), Silva et al (2015), Shahbaz et al. (2015), Uddin et al. (2016), Romero e Gramkow (2020)].

- **AGRIC (participação da agricultura no PIB)**: como um indicador de economias menos desenvolvidas, espera-se que apresente correlação positiva com variáveis de intensidade de degradação, visto que economias de elevada participação do setor primário tendem a apresentar baixo grau de dispersão de tecnologias eficientes no consumo de matéria-prima, além do que a estrutura econômica está baseada em atividades de menor valor agregado para cada unidade de poluente emitido [no sentido do encontrado por Romero e Gramkow (2020)];

- **SERVICE (participação dos serviços no PIB)**: economias mais desenvolvidas apresentam contínuo crescimento do setor terciário, de modo que estas atividades são menos intensivas do ponto de vista material e energético. Espera-se, portanto, que esta transformação estrutural apresente correlação negativa com a intensidade de degradação ambiental. A utilização desta variável é uma das inovações desta tese, a despeito do uso da taxa de participação do setor industrial, que já está muito captada no ECI;

- **FBCF (participação da formação bruta de capital fixo no PIB, defasada em um ano)**: espera-se que o aumento do investimento em países menos complexos seja realizado em setores ainda muito intensivos em *throughput*, de modo que precisam percorrer uma trajetória que passa por um estágio de crescente industrialização, estabelecimento de infraestrutura urbana, logística, social, etc. Já para os países mais complexos, espera-se que o aumento dos

investimentos ocorra cada vez mais em setores *knowledge-intensive*, de menor intensidade material e energética, de modo que impactem negativamente sobre as variáveis de intensidade da degradação ambiental [vide Chu (2020)]. Destaca-se ainda que os “*green investments*”, conforme Boleti *et al.* (2021), Mealy e Teytelboym (2020) e Romero e Gramkow (2020) apresentam elevada correlação com maior ECI e sistema produtivo mais eficiente. A defasagem em um período visa capturar a característica de efeitos de longo prazo dos investimentos produtivos;

- **REC (participação do consumo de energia de fontes renováveis em relação ao total)**: o aumento da participação de energias renováveis tem impacto positivo na descarbonização e, portanto, espera-se que tenha uma correlação negativa com as variáveis de degradação ambiental [vide, por exemplo, Destek *et al.* (2018), Wang e Dong (2019), Chu (2020), Hu *et al.* (2020) e Pata (2020)]. Apesar de o processo de estabelecimento da infraestrutura instalada ser intensivo em materiais e energia, algumas fontes como eólica, solar e hidrelétrica (construções mais modernas) apresentam uma redução na emissão de gases de efeito estufa, a despeito das fontes fósseis. Ressalta-se que, na média, os países menos complexos apresentam percentual de REC maior do que os desenvolvidos (conforme evidencia a base de dados utilizada neste ensaio para as subamostras), mas isto não parece ser fruto de uma intensão política deliberada de opção pelas energias de fontes limpas, mas sim de fatores de dotação de recursos naturais (como disponibilidade de água e topografia adequados para instalação de usinas hidrelétricas, como no caso do Brasil); também há a questão do *spillover* tecnológico para os países que internalizam elos da cadeia produtiva deste setor energético, que se encontra na fronteira do desenvolvimento tecnológico (Mealy e Teytelboym, 2020);

- **FFC (participação do consumo de energia de combustíveis fósseis em relação ao total)**: interpretação contrária à da variável REC, isto é, aumentos da participação de combustíveis fósseis elevam a intensidade carbônica do *throughput*, visto que há contínua emissão de nova carga de GEE provindas da extração e consumo de fontes fósseis [vide, por exemplo, Neagu e Teodoru (2019), Neagu (2020), Pata (2020) e Shahzad *et al.* (2021)].

- **ENERUSE (uso de energia per capita)**: a uso de energia per capita tende a aumentar com a elevação do padrão de desenvolvimento dos países, e apresentar correlação positiva com a intensidade da degradação ambiental. Isto porque a energia e matéria de baixa entropia são os insumos básicos para o funcionamento do sistema econômico [vide, por exemplo, Dogan *et al.* (2019) e Yilanci e Pata (2020)].

2.4.1 Estratégia econométrica

Como estratégia econométrica, optou-se por realizar as regressões pelos métodos tradicionais de painel curto, quais sejam: mínimos quadrados ordinários agrupados (*POLS*), efeitos fixos (EF) e efeitos aleatórios (EA). Pelos testes F e pelo teste de Hausman, colocando os modelos restritos (EF e EA) em oposição ao *POLS*, e posteriormente mais restrito (EA) contra menos restrito (EF), observou-se que o modelo de efeitos fixos é o mais adequado, visto que o conjunto de variáveis que expressam os efeitos fixos específicos dos indivíduos, também chamada de heterogeneidade não-observada (α_i), em conjunto, são significativos e precisam ser levados em consideração. Exemplos destes efeitos são características como localização geográfica, dotação de recursos naturais, perfis culturais, modo de colonização, etc (WOOLDRIDGE, 2006).

Ademais, controlou-se também os efeitos temporais, com o estabelecimento de *dummies* anuais (δ_t), buscando-se evidenciar choques temporais (como crises, ou mudanças generalizadas de padrão tecnológico ou de cotação de *commodities*, como combustíveis fósseis) (exclui-se a primeira *dummy* para evitar colinearidade perfeita dos regressores, uma vez que o modelo inclui intercepto). $\sum_{t=1}^T \delta_t$, comum a todos i da amostra, captura um conjunto potencialmente amplo de choques macroeconômicos ocorridos no período t .

Portanto, são controlados os efeitos fixos e temporais nas regressões. Espera-se, portanto, controlar importantes fontes de endogeneidade na regressão por meio do controle dos efeitos fixos e efeitos temporais, de modo a alcançar o pressuposto da exogeneidade dos regressores.

Neste sentido, tem-se o seguinte modelo básico para efeitos fixos (WOOLDRIDGE, 2006):

$$y_{it} = \beta_1 x_{it} + \alpha_i + \sum_{t=1}^T \delta_t + u_{it}, \quad i = 1, \dots, N. \quad t = 1, \dots, T. \quad (10)$$

Com o objetivo de eliminar os efeitos fixos, para alcançar a hipótese de exogeneidade dos regressores, calcula-se, para cada i , a média da equação (10) ao longo do tempo. Obtém-se, portanto:

$$\bar{y}_{it} = \beta_1 \bar{x}_{it} + \alpha_i + T^{-1} \sum_{t=1}^T \delta_t + \bar{u}_{it} \quad (11)$$

Em que $\bar{y}_{it} = T^{-1} \sum_{t=1}^T \delta_t$ e assim por diante. Como α_i é fixo ao longo do tempo, ele aparece tanto em (10) quanto em (11). Subtraindo-se (11) de (10), para cada t , obtém-se:

$$y_{it} - \bar{y}_{it} = \beta_1(x_{it} - \bar{x}_{it}) + \sum_{t=1}^T \delta_t + u_{it} - \bar{u}_{it}, t = 1, 2, \dots, T \quad (12)$$

Ou

$$\ddot{y}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ddot{x}_{it} + T^{-1} \sum_{t=1}^T \delta_t + \ddot{u}_{it}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (13)$$

Sendo $\ddot{y}_{it} = y_{it} - \bar{y}_{it}$ chamados dados temporais reduzidos. Como o efeito não observado, α_i , desapareceu, deve-se estimar (13) pelo MQO agrupado. Um estimador MQO agrupado que seja baseado em variáveis temporais reduzidas é chamado de estimador de efeitos fixos:

$$\ddot{y}_{it} = \beta_1 \ddot{x}_{it1} + \beta_2 \ddot{x}_{it2} + \dots + \beta_k \ddot{x}_{itk} + \alpha_i + \sum_{t=1}^T \delta_t + \ddot{u}_{it}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (14)$$

Conforme Wooldridge (2006), sob uma hipótese de exogeneidade estrita das variáveis explicativas, o estimador de efeitos fixos é não viesado: grosso modo, o erro idiossincrático u_{it} deve ser não correlacionado com cada variável explicativa ao longo de todos os períodos de tempo. O estimador de efeitos fixos leva em conta uma correlação arbitrária entre α_i e as variáveis explicativas em qualquer período de tempo. Por esse motivo, qualquer variável explicativa que seja constante ao longo do tempo para todo i é removida pela transformação de efeitos fixos: $\ddot{x}_{it} = 0$ para todo i e t , se x_{it} for constante ao longo de t . Portanto, não se pode incluir variáveis tais como gênero ou distância de uma cidade até um rio. As outras hipóteses para que uma análise direta do MQO seja válida são as de que os erros u_{it} sejam homoscedásticos e que sejam serialmente não-correlacionados (ao longo de t).

Aplicando-se o método de efeitos fixos na função descrita na equação 9, obtém-se a seguinte equação estrutural:

$$\begin{aligned}
IntDA_{it} = & \beta_0 + \beta_1 ECI_{it} + \beta_2 ECI_{it}^2 + \beta_3 \ln TRADE_{it} + \beta_4 \ln FDI_{inflow_{it}} + \\
& \beta_5 \ln FREDOM_{it} + \beta_6 \ln URB_{it} + \beta_7 \ln AGRIC_{it} + \beta_8 \ln SERVICE_{it} + \beta_9 \ln FBCF_{it} + \\
& \beta_{10} \ln REC_{it} + \beta_{11} \ln FFC_{it} + \beta_{12} \ln ENERUSE_{it} + \beta_{13} \ln EPString_{it} + \beta_{14} \ln POP + \alpha_i + \\
& \sum_{t=1996}^T \delta_t + u_{it} \quad (15)
\end{aligned}$$

Sendo “i” países (i = 1, ..., 115) e “t” anos (t = 1995, ..., 2015). A variável $IntDA_{it}$ está em logaritmo neperiano (ln) para todas as variáveis “y”. A mesma argumentação se aplica para as variáveis ECI_{it} e ECI_{it}^2 , com o adendo de que faz-se muito importante, aqui, não capturar apenas a variação no nível de complexidade, mas também o valor absoluto do ECI, de modo que mesmo valor de variação pode gerar impactos distintos a depender do nível atual de desenvolvimento dos países. O termo u_{it} capta os erros não-idiossincráticos e não-temporais. A variável $\ln ENERUSE_{it}$, por motivos óbvios, não é utilizada como regressor da variável $\ln IntENERUSE_{it}$. As variáveis $\ln REC_{it}$ e $\ln FFC_{it}$ são utilizadas como substitutas, visto que apresentam graus de adequação diferenciados na maioria das regressões (não são perfeitamente complementares, visto, por exemplo, a existência da energia de fonte nuclear em alguns países).

Neste ensaio, conforme já justificado em seções anteriores, considerou-se o ECI como melhor preditor de nível de desenvolvimento econômico. Portanto, os países menos complexos são considerados de menor desenvolvimento, e vice-versa.

Tendo em vista a grande quantidade de variáveis dependentes e independentes trabalhadas aqui, optou-se por executar os modelos com as mesmas variáveis explicativas para cada uma das variáveis de intensidade da degradação. Exceções ocorreram nas regressões para $IntENERUSE$ (em que nenhum modelo incluiu $ENERUSE$, portanto houve apenas 8 regressões). Desta forma, realizou-se as regressões com seguintes variáveis explicativas conforme Quadro 2.4.

O objetivo é rodar a equação 15 para todas as variáveis dependentes, mas incluindo sucessivamente as variáveis explicativas, para se compreender a importância que adicionam na geração dos resultados. Justifica-se a estruturação dos modelos nesta sequência para que seja possível a visualização de como as variáveis, apenas quando combinadas, passam a demonstrar mais significância estatística, e se apresentam grande mudança no valor, significância e até mesmo, de sinal quando da inclusão de nova variável de interesse/controla.

Quadro 2.4: Regressões e variáveis explicativas

Variável explicativa inclusa	Regressões			
	1	2	3	4
ECI	X	X	X	X
ECI ²	X	X	X	X
<i>Dummies</i> anuais		X	X	X
TRADE		X	X	X
FDInflow		X	X	X
FREEDOM		X	X	X
URB			X	X
AGRIC			X	X
SERVICE			X	X
I.FBCF			X	X
REC			X	
FFC				X
ENERUSE			X	X

Fonte: elaboração própria.

2.4.2 Resultados

Para racionalizar a comparação de resultados e como estratégia de interpretação dos resultados, apresenta-se nos Quadros 2.5 e 2.6, respectivamente, os resultados da aplicação da Equação 15 para as variáveis de intensidade de uso de recursos e de impacto ambiental. Para tornar mais eficaz a análise, buscar-se-á analisar os resultados para as variáveis explicativas de interesse e de controle. Aqui, tem-se as colunas (1) para amostra completa, (2) para subamostra de países menos complexos e (3) para a subamostra de países mais complexos. Os quadros com as estatísticas descritivas, correlações entre as variáveis e resultados das estimações econométricas para a amostra completa e subamostras encontram-se nos Anexos IV, V e IV. Importante salientar que os dados encontrados nos Quadros 2.5 e 2.6 se referem aos resultados da Regressão 3. Apenas a linha que se refere à variável InFFC se refere aos resultados da Regressão 4, conforme Quadro 2.4.

Quadro 2.5: Resultados das estimativas para variáveis de intensidade uso de recursos

	lnIntDMC			lnIntMFoot			lnENERUSE		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
<i>ECI</i>	0,0120 (0,0339)	0,1720** (0,0651)	0,0112 (0,0584)	0,0663 (0,0670)	0,1911* (0,1110)	-0,0021 (0,0963)	-0,021 (0,0492)	0,1784* (0,0950)	-0,1364** (0,0670)
<i>ECF</i>	-0,0635*** (0,0193)	0,0246 (0,0316)	-0,0837** (0,0322)	-0,0095 (0,0244)	0,0660 (0,0416)	0,0128 (0,0511)	-0,0412** (0,026)	0,0298 (0,0373)	0,0035 (0,0354)
<i>lnTRADE</i>	-0,0259 (0,0468)	0,0083 (0,0732)	-0,0659 (0,0570)	-0,1672 (0,1073)	-0,2057** (0,0861)	-0,2087 (0,1923)	-0,0262 (0,0639)	0,0110 (0,1086)	-0,0592 (0,0590)
<i>lnFDInflow</i>	-0,0005 (0,0052)	0,0039 (0,0089)	0,0008 (0,0055)	0,0060 (0,0080)	0,0242 (0,0154)	-0,0006 (0,0067)	0,0043 (0,0065)	0,0083 (0,0138)	0,0018 (0,0042)
<i>lnFREEDOM</i>	-0,0873 (0,1094)	-0,2666** (0,1089)	0,1908 (0,1388)	-0,1391 (0,1845)	-0,4272** (0,2105)	0,1117 (0,3260)	-0,3965** (0,1435)	-0,4350*** (0,1468)	-0,1083 (0,1859)
<i>lnURB</i>	-0,3250* (0,1940)	-0,1539 (0,3033)	-0,5209** (0,2517)	-0,8008* (0,4421)	-0,0668 (0,4994)	-1,0219 (0,8451)	0,2355 (0,2468)	-0,6828* (0,3429)	0,9126*** (0,2763)
<i>lnAGRIC</i>	0,0960* (0,0496)	0,0577 (0,0719)	0,0812 (0,0649)	-0,0290 (0,0685)	-0,0547 (0,1135)	-0,0037 (0,0645)	0,0601 (0,0587)	0,0595 (0,1077)	0,0558 (0,0474)
<i>lnSERVICE</i>	-0,2597*** (0,0944)	-0,2630*** (0,0883)	-0,5462*** (0,1835)	0,2372 (0,1932)	-0,0340 (0,1212)	0,4258 (0,4428)	-0,2880 (0,1935)	-0,2408 (0,2183)	-0,4780*** (0,1606)
<i>lnFBCF</i>	0,0515 (0,0354)	-0,0062 (0,0337)	0,1262* (0,0637)	0,1590** (0,0667)	0,0822* (0,0462)	0,2220* (0,1200)	-0,0433 (0,0422)	-0,0144 (0,0487)	-0,1076** (0,0492)
<i>lnREC</i>	-0,1163*** (0,0313)	-0,1700*** (0,0602)	-0,0859** (0,0374)	0,0882 (0,0706)	-0,1294 (0,0776)	0,1333 (0,0986)	-0,0885** (0,0327)	-0,1134 (0,0871)	-0,0614 (0,0377)
<i>lnFFC</i>	0,0858 (0,0770)	0,1312 (0,0805)	-0,0157 (0,1396)	-0,1089 (0,0876)	-0,0136 (0,1101)	0,0870 (0,1789)	-0,3543*** (0,1041)	-0,4692*** (0,1307)	-0,1616 (0,1124)
<i>lnENERUSE</i>	0,2103*** (0,0714)	0,1925* (0,1052)	0,2825*** (0,0936)	0,0730 (0,0882)	0,0907 (0,1271)	0,1112 (0,1656)	-	-	-
<i>Constante</i>	-5,1486*** (1,2322)	-3,9961 (1,5981)	-5,4102*** (1,3596)	-4,1367* (2,1277)	-3,3326 (2,5471)	-5,6723* (2,7844)	0,8331 (1,3144)	4,4738 (1,7622)	-2,3015 (1,6230)
<i>Número de observações</i>	1.839	785	1.054	1.839	785	1.054	1.839	785	1.054

Fonte: elaboração própria. Em cada célula, o número de cima é o valor do coeficiente da variável explicativa, e o número entre parênteses é o valor do desvio-padrão. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Quadro 2.6: Resultados das estimativas para variáveis de intensidade de geração de impacto

	lnIntCO2			lnIntCO2eq			lnIntCO2cons		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
<i>ECI</i>	-0,0137 (0,0577)	0,1423 (0,1039)	-0,0926* (0,0496)	-0,0061 (0,0645)	0,2290* (0,1248)	-0,0353 (0,1210)	0,0345 (0,0722)	0,1507 (0,1346)	-0,1386*** (0,0418)
<i>ECI^P</i>	-0,0863*** (0,0213)	-0,0114 (0,0377)	-0,0602** (0,0292)	-0,0504 (0,0308)	0,0661 (0,0669)	-0,0652 (0,0474)	-0,0537* (0,0276)	0,0253 (0,0568)	-0,0102 (0,0254)
<i>lnTRADE</i>	0,1230** (0,0549)	0,2495*** (0,0857)	-0,0159 (0,0469)	0,1306 (0,0846)	0,3385** (0,1563)	-0,0179 (0,0678)	0,0443 (0,0783)	0,1489 (0,0974)	-0,1434** (0,0555)
<i>lnFDIinflow</i>	0,0101 (0,0066)	0,0148 (0,0113)	0,0024 (0,0043)	-0,0013 (0,0095)	0,0028 (0,0194)	-0,0015 (0,0065)	0,0179** (0,0084)	0,0367** (0,0148)	0,0019 (0,0059)
<i>lnFREEDOM</i>	-0,358** (0,1278)	-0,3953*** (0,1474)	-0,1406 (0,1299)	-0,6426*** (0,2075)	-0,5983** (0,2687)	-0,3621* (0,1894)	-0,4241** (0,1426)	-0,2477 (0,1842)	-0,1252 (0,1255)
<i>lnURB</i>	0,7134** (0,2863)	0,5333** (0,2558)	0,4369 (0,2907)	0,0379 (0,3579)	-1,3728** (0,6408)	0,4891 (0,3261)	0,6126* (0,3341)	0,2146 (0,4515)	0,3672 (0,2582)
<i>lnAGRIC</i>	0,126** (0,0675)	0,1497 (0,1312)	0,0347 (0,0541)	0,1075 (0,0796)	0,0647 (0,1529)	0,1093 (0,0678)	0,0627 (0,0907)	0,2940* (0,1543)	0,0517 (0,0502)
<i>lnSERVICE</i>	0,0763 (0,1612)	0,2619** (0,1242)	-0,539*** (0,1804)	0,0434 (0,1727)	0,2541 (0,2170)	-0,3427 (0,2526)	-0,0876 (0,2324)	0,0469 (0,2066)	-0,3898** (0,1866)
<i>lnFBCF</i>	0,0628 (0,0484)	0,0971 (0,0581)	-0,1013 (0,0704)	-0,0456 (0,0539)	-0,0103 (0,0669)	-0,1370* (0,0719)	0,1689** (0,0823)	0,1366* (0,0716)	-0,0567 (0,0394)
<i>lnREC</i>	-0,1719*** (0,0283)	-0,1940** (0,0837)	-0,1273*** (0,0704)	-0,1790*** (0,0399)	-0,1082 (0,1005)	-0,1363*** (0,0416)	-0,1630*** (0,0424)	-0,0955 (0,1078)	-0,0625** (0,0305)
<i>lnFFC</i>	0,4910*** (0,0749)	0,3901*** (0,0836)	0,5268*** (0,1744)	0,1492 (0,1242)	0,0217 (0,1291)	0,2457 (0,1623)	0,4480*** (0,1104)	0,3337*** (0,1496)	0,3277*** (0,0723)
<i>lnENERUSE</i>	0,3443*** (0,0975)	0,3480** (0,1328)	0,419*** (0,0928)	-0,0309 (0,1206)	-0,1559 (0,1682)	0,0310 (0,1129)	0,1370 (0,1137)	-0,0150 (0,1642)	0,3028*** (0,0855)
<i>Constante</i>	-5,2741*** (1,5892)	-5,3805*** (1,3913)	-2,2310 (1,7686)	12,2787*** (1,8934)	16,7824*** (2,7470)	10,8931 (1,9220)	-2,3010 (1,9041)	-1,9016 (1,8737)	-1,4407 (1,7462)
<i>Número de observações</i>	1.837	785	1.052	1.595	694	901	1.696	703	993

Fonte: elaboração própria. Em cada célula, o número de cima é o valor do coeficiente da variável explicativa, e o número entre parênteses é o valor do desvio-padrão. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

- ECI

Observa-se que não há evidência de ocorrência de CKA para qualquer das amostras. Quando se analisa o lado da entrada de matéria e energia no sistema econômico, tem-se que na amostra completa, o sinal negativo para IntDMC e IntENERUSE, indicando crescente *decoupling* de recursos, ocorrendo o mesmo resultado (em maior intensidade). Também há evidências de *decoupling* de impacto quando se observa a variável IntCO2 (ECI²), de modo que, de forma geral, para esta amostra, o aumento da complexidade econômica dos países indica um fator de avanço no sentido de maior desmaterialização e descarbonização da economia.

Analisando-se a subamostra dos países menos complexos, não se encontra qualquer evidência de *decoupling*. Todas as variáveis com resultados estatisticamente significativos são para a variável em nível, indicando o aumento da intensidade material e carbônica para os países que estão em estágios de desenvolvimento menos avançados. De forma oposta, a subamostra dos países mais complexos indica que, a níveis mais elevados de complexidade econômica, aumentos adicionais do ECI promovem o *decoupling*, seja de recursos (IntDMC e IntENERUSE), seja de impacto (IntCO2 e IntCO2cons).

Do ponto de vista teórico, explica-se os resultados acima pelos mesmos motivos já descritos quando da argumentação do sinal esperado para o ECI. Nos países menos complexos há predominância do efeito escala (com aumento da produção industrial, instalação de infraestrutura logística, elétrica, energética, urbana, social, e maior demanda de consumo por bens mais complexos pelos usuários finais), com uma estrutura produtiva ainda de baixa eficiência energética e material e, em sua maioria, pesada proporção de recursos de origem fóssil na matriz energética. Já nos países mais complexos, há predominância dos efeitos estrutural e tecnológico, com participação crescente de setores mais intensivos em tecnologias e menos intensivos em matéria, energia e trabalho, de alto teor de conhecimento acumulado, com aumento da produtividade do trabalho, crescimento da participação do setor terciário na geração de valor agregado na economia, fortalecimento das instituições, além de já apresentarem o conjunto de infraestrutura supracitado bem consolidado.

Apesar dos resultados para a amostra complexa não demonstrarem resultados que corroborem a hipótese da CKA, quando se observa o comportamento das subamostras, evidencia-se uma lógica de que, a níveis inferiores de desenvolvimento econômico, o aumento

do ECI agrava a degradação ambiental, mas a níveis maiores de complexidade econômica, o efeito é inverso. Parece haver um ponto de inflexão, portanto, que não foi possível de ser captado pelos resultados deste trabalho.

Interessante observar que as variáveis que apresentam resultados significativos evidenciando o *decoupling*, predominantemente, são aquelas que caracterizam a produção dos países (IntDMC, IntENERUSE e IntCO2), sendo que não há qualquer evidência de desmaterialização do padrão de consumo (IntMFoot) para os países mais complexos, apesar de haver evidência de descarbonização (IntCO2cons) de modo que, *ceteris paribus*, o aumento de 1 unidade do ECI leva a uma redução de 13,9% na IntCO2cons.

Destaca-se aqui a importância da análise em subamostras, tendo em vista que, analisando-se apenas os resultados a partir da amostra completa, o ECI em nível na maioria das vezes não apresenta significância estatística, indicando a predominância apenas da correlação negativa entre o ECI e as variáveis independentes. Por fim, observa-se que a elasticidade desta variável, na média, não é tão grande quanto a de outras variáveis (como FREEDOM).

- TRADE

Quando se observa os resultados para a amostra completa, parece não haver relação qualquer entre o comércio internacional e a intensidade de degradação ambiental. No entanto, quando se observa as subamostras, encontra-se resultados robustos para o debate acerca das hipóteses de Porter e dos “refúgios de poluição”. Para os países menos complexos, o aumento da abertura comercial leva a um *decoupling* de recursos quando se observa a variável IntMFoot, ou seja, há indícios de que há consumo de mercadorias que foram produzidas de forma mais eficiente no consumo de materiais (seja de produção interna ou importada de países que apresentam sistemas produtivos mais evoluídos do ponto de vista tecnológico). No entanto, do ponto de vista carbônico, há evidências de intensificação das emissões de CO2 e de GEE com o aumento do comércio internacional. Possível justificativa é que estes países intensificam a produção de bens exportáveis (geralmente menos sofisticados e que são intensivos em emissões, como bens primários e de elos iniciais das cadeias globais de valor).

Do ponto de vista do *decoupling* de impacto (lado da produção), este aumento da abertura comercial leva a aumento da IntCO2 e IntCO2eq vai de encontro com a hipótese de

Porter, visto que o perfil de setores explorados no comércio internacional pelos países menos complexos, o aumento do mercado potencial e o crescimento econômico proporcionado levam a um aumento do efeito escala em maior proporção do que o estrutural e o tecnológico. Esta parece ser uma evidência de corroboração da hipótese dos “refúgios de poluição”, visto que há atração de investimentos “mais sujos”, ou seja, em setores mais poluidores, com a diminuição das barreiras tarifárias e não-tarifárias nos países menos desenvolvidos.

Por fim, para a subamostra de países mais complexos, há evidência de *decoupling* de impacto, visto que aumentos adicionais da variável TRADE levam a redução de IntCO2cons. Isto indica que as emissões de CO2 embutidas no consumo destes países se reduzem, sendo uma possível justificativa a de que o aumento do comércio gera o consumo de bens mais amigáveis e menos intensivos em emissões para um padrão de consumo já elevado.

- FDIinflow

Primeiro ponto a se destacar quando se analisa o FDIinflow como regressor, é que não há significância estatística para nenhum dos modelos das subamostras de países mais complexos. Especula-se neste ensaio que o principal motivo seja que, pelo fato destes países, em sua maioria, serem exportadores líquidos de capital, o impacto da entrada de Investimento Estrangeiro Direto em seus territórios não apresenta relevância no debate de *decoupling*. Outrossim, não há qualquer evidência de impacto do fluxo de entrada de IED sobre a intensidade de recursos de qualquer das amostras.

Analisando-se o impacto de FDIinflow sobre o *decoupling* de impacto por meio da IntCO2cons, observa-se que o aumento de 1% da primeira leva a um aumento de 1,8% da última para a amostra completa, e de 3,7% para a subamostra dos países menos complexos. Tais resultados corroboram os argumentos dos críticos à abertura de capitais como veículo de melhorias ambientais nos países menos desenvolvidos, visto que se constitui, pelo contrário, como um intensificador de impacto ambiental. Uma possível razão para tal resultado seja a necessidade de que, para estabelecimento da infraestrutura demandada pelos novos investimentos entrantes, sejam necessários volumosos investimentos “*green field*” com entrada de produtos, produzidos nacionalmente, mas, principalmente, importados (por exemplo,

maquinário para as indústrias), visto que as variáveis IntCO2 e IntCO2eq não se mostram estatisticamente relevantes.

Os resultados para FDIinflow não evidenciam o *offshoring* de elos das cadeias globais de valor mais degradantes do ponto de vista ambiental induzidos pelos fluxos de entrada de IED. Novamente, destaca-se que tal observação só se fez possível pela análise desagregada da amostra, e que os valores dos coeficientes são baixos, indicando baixo impacto escalar do comércio internacional por esta medida, sobre as variáveis de intensidade de degradação ambiental.

- FREEDOM

Conclui-se que a variável FREEDOM – que é o Índice de Liberdade Econômica, adotada neste trabalho como *proxy* para o grau de qualidade da institucionalidade dos países – é de grande relevância na determinação das variáveis de intensidade de degradação ambiental, tanto o *decoupling* de recursos quanto o de impacto, em especial para a subamostra de países menos complexos. Ademais, o sinal é unanimemente negativo, indicando que em todos os casos em que FREEDOM apresenta significância estatística, a interpretação é que o aumento da qualidade das instituições dos países na direção de dar maior liberdade econômica aos agentes, leva a economia, de maneira estrutural, a funcionar de forma mais eficiente do ponto de vista de materiais e de energia, além de proporcionar a prosperidade de setores que são menos intensivos em poluição (como o setor terciário e indústrias de alto teor de tecnologia agregada). Ademais, fica evidenciado que o *decoupling* de impacto ocorre em velocidade maior do que o de recursos, tendo em vista a diferença do valor em módulo dos coeficientes.

Destaca-se, também, que a melhoria da institucionalidade se evidencia, do ponto de vista do tamanho do valor dos coeficientes, como o principal meio que conduz os países menos complexos – e a amostra completa, por consequência – a um impacto de *decoupling* da degradação do meio ambiente. Por fim, percebe-se que, tendo em vista que os países mais complexos já alcançaram, de forma conjunta, uma média de elevada qualidade do funcionamento das instituições, saturaram o potencial de impacto das melhorias na institucionalidade sobre a intensidade de degradação ambiental, motivo pelo qual não apresentam significância estatística para a variável FREEDOM.

Exceção feita para a IntCO₂eq, indicando que a melhoria da institucionalidade apresenta o maior impacto quando se leva em consideração outros gases de efeito estufa para além do CO₂, e também as emissões de uso da terra, mudança no uso da terra e de atividades florestais (acumuladas todas na variável CO₂ equivalente). Possível razão seja que, com a níveis mais elevados de desenvolvimento socioeconômico, a pressão social por melhorias na qualidade de ar nas áreas urbanas faça com que haja maiores restrições nas emissões de poluentes de impactos percebidos de forma local e regional, como emissão de material particulado, SO₂ (causador da chuva ácida), NO_x, etc.

- URB

A variável URB caracteriza, ao mesmo tempo, o perfil populacional e tecnológico de um determinado país. Sendo assim, espera-se que haja diferentes impactos do aumento da taxa de urbanização de um país a depender do seu estágio de desenvolvimento econômico, conforme já explorado anteriormente neste ensaio. Percebe-se um comportamento heterogêneo desta variável nos diferentes recortes amostrais, o que parece ser uma novidade quando se analisa a bibliografia deste tema.

Para a amostra completa, observa-se que o aumento da taxa de urbanização leva a um *decoupling* de recursos, mas o efeito é contrário para o de impacto. O processo de urbanização, em princípio, promoveria um aumento do consumo de insumos necessários para a consolidação de infraestrutura viária, elétrica, de saneamento, além da construção de imóveis comerciais e para moradia. No entanto, parece que maior urbanização da população parece induzir a demanda por setor de serviços e maior eficiência no setor produtivo, para redução dos “*environmental bads*” (como poluição e resíduos sólidos), o que reduziria, no total, o consumo de materiais. Por outro lado, há intensificação dos impactos tanto do ponto de vista do sistema produtivo (IntCO₂) quanto do padrão de consumo (IntCO₂cons). Portanto, apesar do aumento da eficiência material trazida pela urbanização, os hábitos e demandas da vida urbana, como uso de meios de transportes automotores, consumo de energia elétrica para uso crescente de eletrodomésticos, demanda de iluminação urbana, etc., eleva a intensidade de emissões de poluentes.

Para o caso dos países menos complexos, observa-se que há *decoupling* de recursos do ponto de vista energético, talvez pelo aumento da eficiência dos processos econômicos em comparação com uma sociedade mais rural. Já do ponto de vista dos impactos, há forte *decoupling* para a totalidade de gases de efeito estufa, mas aumento da intensidade carbônica. Entende-se que o primeiro é derivado pela maior pressão da sociedade organizada por diminuição da emissão de gases que têm maior impacto de poluição local (como material particulado, NOx e SOx), que possuem elevado impacto no cálculo de CO2 equivalente. No entanto, as atividades industriais e de transporte, ao serem intensificadas com a urbanização, continuam aumentando a intensidade carbônica pelos processos de combustão.

Para o conjunto de países mais complexos, a evidência é que o aumento da urbanização, *ceteris paribus*, leva a uma diminuição da intensidade material, talvez pela característica das moradias e infraestrutura solicitada para níveis já elevados de urbanização, em que a população urge por melhores condições ambientais (limpeza e poluição, por exemplo). Há um processo de desmaterialização visto que as estruturas produtivas nestes países já se encontram cada vez mais terceirizadas, e com população urge por melhores condições ambientais (limpeza e poluição, por exemplo). Por fim, destaca-se que a intensidade material do ponto de vista do consumo de energia apresenta correlação elevada com a urbanização, visto que os hábitos e demandas urbanas – de deslocamento por meio de transporte automotor, de uso de equipamentos eletrônicos, etc. – eleva a intensidade energética.

Destaca-se, ainda, os valores – em módulo – dos coeficientes da variável URB, levando a grande impacto escalar sobre as diversas variáveis de impacto ambiental. Outrossim, enquanto que maior ECI leva a maior *decoupling* de impacto e menor *decoupling* de recursos, o aumento da URB leva ao efeito contrário, de maior *decoupling* de recursos e menor – ou mesmo intensificação – do impacto.

- AGRIC

Considerando-se os países na amostra completa, AGRIC apresenta significância estatística para IntDMC e com sinal positivo, indicando que países em que o setor agrícola ainda é preponderante apresentam estrutura produtiva cada vez mais intensiva em materiais. Percebe-se que há provável relação de maior intensidade material produtiva em países de menor

nível de desenvolvimento, visto que a estrutura produtiva tende a ser menos eficiente, e o país ainda esteja passando pelo processo de desenvolvimento da infraestrutura produtiva e logística, intensivas em energia e materiais. Apesar desta interpretação, AGRIC não é estatisticamente relevante para os países mais complexos.

Economias que apresentam aumento do setor agrícola em relação ao PIB apresentam, também, impacto positivo na IntCO2 para a amostra completa e IntCO2cons para os menos complexos. Esta é uma característica de economias que passam por reprimarização ou que sempre apresentaram baixo nível de desenvolvimento econômico, e como consequência, baixa eficiência energética e produtiva, com atividades econômicas que agregam pouco valor a cada unidade de poluente emitida.

- SERVICE

Nota-se mais uma vez a importância de se realizar a abordagem empírica em subamostras, tendo em vista que a importância da variável SERVICE parece subestimada na análise para a amostra completa, em que é estatisticamente significativa apenas para o cenário da intensidade de materiais do ponto de vista da produção (IntDMC), indicando um potencial de *decoupling* de recursos a partir do aumento da participação do setor terciário na geração de valor da economia. Este resultado pode estar relacionado ao fato de o setor terciários ser menos intensivo no uso de matéria e energia, seja no desenvolvimento de sua infraestrutura, quanto na produção dos resultados finais (desmaterializados).

Por outro lado, nos países menos complexos, espera-se que ainda haja um processo de transformação da estrutura econômica – com montagem de infraestrutura logística, produtiva, energética, urbana, social, e também de um padrão de consumo de classe média emergente, que adquirem em massa bens de consumo duráveis (como automóveis, eletrodomésticos, residência própria) e não-duráveis – que já está praticamente saturado nos países que lideram o ranking de complexidade econômica. Por isto este comportamento de aumento da intensidade da emissão de CO2 por parte do sistema produtivo com o aumento do setor de serviços, que são especializados em serviços menos sofisticados (por exemplo, transporte).

Salta aos olhos que para os países mais complexos, o impacto desta variável sobre a IntDMC é mais do que o dobro o impacto para os países menos complexos. Quanto maior é o

nível de desenvolvimento econômico, o aprofundamento da mudança estrutural da economia no sentido de um aumento incremental do setor terciário em detrimento, principalmente, do industrial, eleva o potencial desmaterializante desta variável. Por sua vez, a intensidade do uso de energia também está negativamente correlacionada com a variação da participação do setor terciário na economia para o conjunto de países mais complexos, evidenciando-se, assim, que economias de estrutura de serviços mais complexa também demanda menor intensidade energética, por estar crescentemente focalizada no consumo de serviços mais sofisticados, por exemplo, de lazer, entretenimento, turismo, softwares, etc., o que também acaba por causar impacto de redução na IntCO₂ e IntCO₂cons.

- FBCF defasada em um período

Depreende-se que a formação bruta de capital fixo apresenta característica distintas também quando se faz a análise desagregada. Na amostra completa e para os menos complexos, a FBCF defasada em um período apresenta relação positiva com a variação da IntMFoot e IntCO₂cons, ou seja, intensifica a degradação ambiental tanto pelo lado dos recursos quanto pelo lado do impacto, quando se observa o padrão de consumo dos países. Tal fato pode ser justificado, dentre outras razões, pelo teor de materiais e de poluição embutidos na formação de estrutura produtiva, em especial industrial, como na indústria de transformação, com maquinário, construção civil, etc. O aumento da IntMFoot é unânime em todos os recortes amostrais, enquanto que para a IntCO₂cons, há evidência estatística apenas para a amostra completa e para os países menos complexos.

Para os países mais complexos, enquanto que os investimentos incrementais representam aumento da intensidade no uso de materiais tanto DMC quanto MFoot, há diminuição tanto na intensidade de uso da energia (IntENERUSE) – *decoupling* energético – quanto da emissão de gases de efeito estufa (IntCO₂eq) – *decoupling* de impacto –, demonstrando que são incrementos de potencial de produção mais eficiente do ponto de vista energético e também mais “limpa” do ponto de vista da geração de poluentes, o que mais uma vez evidencia que o aumento da complexificação da estrutura econômica propicia o aprofundamento do desenvolvimento de setores mais eficientes e “amigáveis” do ponto de vista ambiental.

- REC

Aqui está uma das principais constatações deste trabalho empírico: a participação da energia de fontes renováveis no total consumido em uma economia apresenta, unanimemente nos casos em que é estatisticamente significativa, impacto de *decoupling* tanto de recursos (IntDMC e IntENERUSE), quanto de impacto (IntCO₂, IntCO₂eq, IntCO₂cons e IntTRANSFCO₂). O uso crescente de da energia de fontes renováveis implica em aumento do uso de materiais e produção de poluição nas fases de confecção, instalação e manutenção da infraestrutura dos parques de produção de energia, sendo que, por definição, o processo de geração de energia não implica no acréscimo do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera.

Portanto, é essencial que os países busquem aumentar o investimento neste setor, desde a instalação da infraestrutura de geração e distribuição da energia, mas também na internalização de elos da cadeia de geração de valor global do setor de energias renováveis e também investimentos em pesquisa e desenvolvimento para buscar inovar neste setor. Nesta estratégia, os países poderiam aumentar a complexidade econômica relacionada a um setor fundamental na transição para um modelo de desenvolvimento de “baixo carbono”, fundamental para adaptação do modo de produção capitalista às restrições biofísicas globais, que se evidenciam, por exemplo, nos compromissos assumidos dentro do Acordo de Paris sobre as mudanças climáticas.

- FFC

Quando se analisa a participação de energias de fontes fósseis no consumo total de um país, percebe-se que o impacto de *decoupling* ocorre apenas para a intensidade de uso de energia. Uma possível justificativa é que, tendo em vista que o uso de energia é mensurado como consumo de óleo equivalente de energia primária, independentemente da fonte de energia, sob esta métrica, o uso de energia de fontes fósseis se dá de forma mais eficiente do que as demais (fontes renováveis e energia nuclear), tendo em vista que o teor energético dos fósseis é mais elevado, o que faz com que cada unidade de valor requeira menos energia.

Já do ponto de vista do impacto, tanto do ponto de vista da produção (IntCO₂) quanto do consumo (IntCO₂cons), tanto quanto à significância estatística quanto do impacto escalar dos coeficientes, o aumento de FFC intensifica a degradação ambiental, se configurando como importante “vilão” no processo de descarbonização das economias, independentemente do grau de complexidade em que se encontram.

- ENERUSE

A análise desta variável também apresenta unanimidade quanto ao sinal dos coeficientes: em todos os casos em que há significância estatística para ENERUSE, ela se relaciona positivamente com as variáveis de intensidade da degradação ambiental. Ademais, este impacto se intensifica conforme aumenta-se o nível de complexidade econômica dos países, de modo que um aumento incremental no uso per capita de energia engendra crescentes impactos ao longo da trajetória de crescimento dos países.

Este resultado não é surpreendente, tendo em vista que a energia, conjuntamente às demais matérias-primas e bens intermediários, são insumos básicos no processo produtivo e também no consumo final. Portanto, é uma variável que não se dissocia por definição dos processos de degradação ambiental.

- TENDÊNCIA TEMPORAL (análise das *dummies* anuais)

De forma geral, percebe-se que as *dummies* temporais são crescentemente importantes, em especial após o início da década de 2000, demonstrando um caráter de *path-dependence*. Outrossim é que a mudança estrutural captada de *decoupling* de recursos e de impacto é alcançado de maneira mais pretérita pelos países mais complexos, e só posteriormente pelos menos desenvolvidos. Tal fato tem como principal justificativa que o desenvolvimento de inovações tecnológicas que aumenta a eficiência no uso de materiais e de energia, de geração de energia renovável, se concentra quase que totalmente nos países mais desenvolvidos, que também detém a maior parte dos elos da cadeia de geração de valor destes setores. Só

tardamente estas tecnologias são incorporadas pelos países menos complexos, aumentando o *gap* de velocidade do *decoupling* entre as subamostras.

Por fim, destaca-se que enquanto os países menos complexos não apresentam tendência temporal de *decoupling* da emissão de CO₂ embutidos no consumo (IntCO₂cons), os mais complexos não apresentam esta tendência para o *decoupling* da pegada material (IntMFoot). Portanto, enquanto os primeiros ainda apresentam predominância de intensificação do consumo de bens de elevado teor de carbono incorporado conforme progredem na trajetória de desenvolvimento econômico, os últimos demonstram uma tendência de rigidez do padrão de consumo material, indicando que o progresso quanto à complexificação econômica não é acompanhado, em termos temporais, por diminuição do impacto material de seu consumo.

2.5 Discussão

O quadro 2.7 resume os resultados quanto à intensidade do impacto ambiental para as diferentes variáveis explicativas e recortes amostrais. Observou-se que a análise desagregada da amostra é essencial na compreensão dos impactos diferenciados das mudanças estruturais da complexidade econômica, do comércio internacional, fluxo de capitais, qualidade das instituições, e demais variáveis de controle, sobre as diversas variáveis de intensidade do impacto ambiental. Do ponto de vista da amostra completa, observa-se clara tendência de *decoupling*, em especial de recursos, com o aumento das variáveis independentes. No entanto, não se observa com igual clareza o impacto de descarbonização, em que apenas as variáveis FREEDOM e REC apresentaram este impacto. Fica claro que a evolução tecnológica e mudança estrutural da economia global propiciou maior eficiência no uso de matéria e energia, mas ainda com impacto poluidor crescente, o que prejudica a busca pelo alcance das metas propostas no Acordo de Paris.

De modo geral, corroborou-se os resultados da análise de estatística descritiva de que, para os países mais complexos, a tendência do *decoupling* de recursos e de impacto ocorre de forma mais uniforme quando se analisa o impacto das variáveis explicativas, mas de modo mais robusto na descarbonização da economia. Por outro lado, o comportamento para os países menos complexos foi o inverso: maior facilidade no *decoupling* de recursos e maior intensificação nas variáveis de impacto. No entanto, observa-se também que os resultados não vão ao encontro da análise estatística inicial de forma unânime, visto que naquela análise, foram

apresentados os dados apenas dos 20 países menos complexos, e na análise econométrica, são 58 países. Entretanto, em linhas gerais, a conclusão é a mesma: há tendência de intensificação da degradação ambiental, em especial, nas variáveis de impacto. As variáveis URB e FBCF apresentaram comportamento dúbio, de intensificação para algumas variáveis “y” e de *decoupling* para outras.²⁰

Quadro 2.7: Resultados gerais para a intensidade dos impactos ambientais

Variáveis explicativas	Amostra completa		Menos complexos		Mais complexos	
	Recursos	Impacto	Recursos	Impacto	Recursos	Impacto
ECI	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	Intensificação	Intensificação	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>
lnTRADE	-	-	<i>Decoupling</i>	Intensificação	-	<i>Decoupling</i>
lnFDInflow	-	Intensificação	-	Intensificação	-	-
lnFREEDOM	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	-	<i>Decoupling</i>
lnURB	<i>Decoupling</i>	Intensificação	<i>Decoupling</i>	Intensificação / <i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i> / Intensificação	-
lnAGRIC	Intensificação	Intensificação	-	Intensificação	-	-
lnSERVICE	<i>Decoupling</i>	-	<i>Decoupling</i>	Intensificação	<i>Decoupling</i>	-
lnFBCF	Intensificação	Intensificação	Intensificação	Intensificação	Intensificação / <i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>
lnREC	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>	<i>Decoupling</i>
lnFFC	<i>Decoupling</i>	Intensificação	<i>Decoupling</i>	Intensificação	-	Intensificação
lnENERUSE	Intensificação	Intensificação	Intensificação	Intensificação	Intensificação	Intensificação

Fonte: elaboração própria.

Faz-se necessário destacar alguns resultados, em especial, das variáveis de interesse. Como já explicitado, utilizou-se neste trabalho a variável *ECI* como *proxy* para desenvolvimento econômico. Não houve resultados, seja na amostra complexa ou subamostras, que corroborassem a hipótese da CKA. Observou-se que, para a amostra completa, a evolução da estrutura econômica leva ao *decoupling* tanto de recursos quanto de impacto. No entanto, na

²⁰ Resultados interessantes também surgem tanto da FBCF e URB. A FBCF é intensificadora da degradação ambiental para os países menos complexos, enquanto para os mais complexos, o crescimento de investimento em percentual do PIB leva à desmaterialização e descarbonização da economia. Já para URB, a interpretação se torna mais complexa, tendo em vista que há resultados contraditórios de intensificação e *decoupling* de impacto ambiental para os países menos desenvolvidos, e de recursos para os mais desenvolvidos.

análise desagregada, os resultados lembram a CKA, de modo que, para os menos complexos, o aumento do *ECI* leva a intensificação da degradação ambiental (de recursos e de impacto), enquanto para os países mais complexos, induz ao *decoupling* nas duas pontas.

Portanto, o aumento da complexidade econômica, por si só, não é uma solução para resolver o problema da intensidade do uso de materiais e geração de impactos pela emissão de poluentes, visto que induz a intensificação da degradação ambiental nos países que se encontram em estágios anteriores do desenvolvimento econômico. É fundamental se pensar em estratégias de política pública que induzam um aumento da complexidade econômica por meio da incorporação de setores econômicos e tecnologias que gerem um “atalho” para o desenvolvimento sem que seja necessário passar pela “trilha” de degradação ambiental percorrida pelos países hoje considerados de elevado grau de desenvolvimento (ANDRADE *et al.*, 2021).

O processo de complexificação da economia na Era do Antropoceno deve ser perseguindo setores e processos que englobem um processo de transição da estrutura produtiva para setores mais “verdes”, em especial, aqueles envolvidos na geração de energia renovável e na produção de bens amigáveis ao meio ambiente, imersos num mundo em que a recuperação da qualidade dos ecossistemas e limpeza da matriz energética é vital para o sistema econômico e a harmonia social.

Analisando-se as variáveis TRADE e FDIinflow, percebe-se evidências de corroboração da hipótese de “refúgios de poluição”, sendo que o aumento da abertura comercial e os fluxos de entrada de investimento estrangeiro direto tem como consequência, para os países menos complexos, a intensificação do impacto ambiental, apesar de promover *decoupling* de recursos. Para os países desenvolvidos, já com elevado grau de abertura comercial, o aumento de TRADE leva a um *decoupling* de impacto. Portanto, do ponto de vista da intensidade carbônica, a variável TRADE parece deslocar a intensidade de impacto dos países mais complexos para os menos complexos, enquanto que o recebimento de investimento estrangeiro direto também promove esta intensificação para os últimos.

Por fim, as variáveis FREEDOM, SERVICE e REC parecem ser fundamentais no processo de *decoupling* de recursos e de impacto. O aumento da liberdade econômica dos países, da terceirização da estrutura econômica e do percentual de energias de fontes renováveis na matriz energética dos países demonstraram ser variáveis que, além de apresentarem resultados de *decoupling* para todos os cenários, ainda apresentaram coeficientes elevados, de

modo que promovem, para uma mesma variação percentual, um impacto mais robusto sobre as variáveis de degradação ambiental. Neste sentido, fica claro que a busca pela promoção de maior qualidade das instituições e liberdade de tomada de decisão pelos agentes econômicos, com um Estado eficaz no cumprimento das normas e regras estabelecidas, é fundamental no processo de desmaterialização e descarbonização das economias.

No mesmo sentido, a evolução da estrutura econômica no sentido do aumento da participação do valor adicionado do setor terciário no PIB e a adoção crescente de energias renováveis em substituição das fontes fósseis produz resultados substanciais na melhoria dos resultados ambientais dos países. Fica evidente que o aumento das variáveis ECI, FREEDOM, SERVICE, TRADE, e REC são fundamentais no alcance das metas do Acordo de Paris e para uma economia de baixo carbono. No entanto, tanto a busca de aumento de ECI quanto de TRADE precisam de estratégias de política pública, direcionando o desenvolvimento de setores que, enquanto complexificam a estrutura econômica, também permitam permita a inserção competitiva nas cadeias globais de valor em elos de elevado valor agregado, com melhores empregos e renda para suas populações.

2.6 Notas Conclusivas

Este ensaio objetivou avaliar as relações entre o desempenho econômico e a performance ambiental pela ótica do impacto da complexidade econômica (variável de interesse principal), da abertura do comércio internacional, da entrada de investimento estrangeiro direto e da qualidade das instituições sobre diversas variáveis que avaliam a intensidade da degradação ambiental, seja no consumo de recursos, seja na geração de poluição ambiental. Foi realizada uma revisão sobre a relação da complexidade econômica, performance ambiental e *decoupling* de recursos e de impacto, seja do ponto de vista absoluto ou relativo.

No exercício empírico, dividiu-se a base de dados de 115 países entre menos e mais complexos, com dados anuais para o período de 1995-2015. Os resultados evidenciaram que o impacto das variáveis ECI, TRADE, FDIinflow impactam de forma diferente as duas subamostras, enquanto que as variáveis FREEDOM e REC têm, de forma unânime, correlação negativa com as variáveis de degradação ambiental. De modo geral, os resultados demonstraram que a evolução da complexidade econômica, maior abertura comercial e de atração de investimento estrangeiro direto não são, sozinhas, soluções definitivas para

conduzirem ao menos ao *decoupling* relativo de recursos e de impacto, em especial para a subamostra de países menos complexos. Os resultados corroboraram a hipótese do trabalho, ou seja, o *decoupling* de impacto e de recursos ocorrem em ritmos diferentes para as duas amostras, sendo que a tendência é de maior velocidade de *decoupling* de impacto em relação ao de recursos para os países mais complexos, enquanto há até mesmo evidências de intensificação das variáveis de impacto ambiental para os menos complexos, enquanto há tendência lenta de *decoupling* de recursos.

Para promoção de um modelo de desenvolvimento econômico adequado à Era do Antropoceno, é essencial o que o Estado exerça seu papel na estruturação de políticas públicas que promovam a complexificação da estrutura produtiva, em especial dos países menos complexos, de forma estratégica, em especial em elos de das cadeias globais de valores dos setores de geração de energia renovável e de bens amigáveis ao meio ambiente. É impossível seguir a mesma “trilha” de desenvolvimento dos países hoje considerados mais complexos e, portanto, desenvolvidos, visto as restrições das fronteiras planetárias e necessidade de descarbonização do sistema econômico evidenciado pelo Acordo de Paris e pelas mudanças climáticas. Futuros estudos deverão abordar tais estratégias de política econômica e estudos de casos de países que tem sido bem-sucedidos nesta transição para uma economia de baixo carbono.

Anexo I – Revisão da bibliografia sobre o método STIRPAT

Quadro A.I - Revisão da bibliografia sobre o método STIRPAT

Autores	Região	Período	Variável dependente	Variáveis explicativas	Método de análise de dados	Resultados
York <i>et al.</i> (2003a)	Mundo (146 países para emissões de CO ₂ e 138 para pegada energética)	1996 para emissões de CO ₂ e 1999 para pegada energética)	Emissões de CO ₂ e pegada energética	População total; % população não-dependente; PIBpc e seu termo quadrático; clima; % de urbanização e seu termo quadrático; % de industrialização	6 modelos testados. <i>Cross-section</i>	População e PIB per capita causam impactos positivos de forma monotônica, com esta última se tornando mais elástica enquanto crescente para pegada ecológica e o contrário para emissão de CO ₂ ; países tropicais impactam com menor intensidade; e variáveis de urbanização e industrialização apresentam fortes impactos.
York <i>et al.</i> (2003b)	Mundo (142 países)	1996	Pegada ecológica	População total; população não-dependente; área de terra per capita; latitude em que o país está (ártico e temperado); PIBpc e seu termo quadrático; % população urbana e seu termo quadrático; variáveis quanto a posição no sistema político mundial, direitos políticos, liberdades civis e ambientalismo governamental	6 modelos testados. <i>Cross-section</i>	Fatores econômicos e ecológicos determinam de maneira fortemente robusta o impacto humano sobre o meio ambiente (destaque para as variáveis de população, afluência e urbanização). Resultados contradizem a argumentação neoclássica de que direitos políticos, liberdade econômica e ambientalismo governamental levam a menor impacto ambiental de maneira suficiente.

Rosa <i>et al.</i> (2004)	Mundo (142 países)	1991 (CH ₄) e 1996 para demais	GEE (CO ₂ e CH ₄), substâncias que degradam a camada de ozônio e Pegada ecológica	População total; PIBpc e seu termo quadrático	9 modelos testados <i>Cross-section</i>	Resultados contradizem a expectativa da CKA, sendo a para todos os modelos, população e afluência explicam entre 60 a 95% dos impactos ambientais
Fan <i>et al.</i> (2006)	Mundo. Países conforme nível de renda (4 faixas)	1975 a 2000	Emissão de CO ₂	PIBpc; população total; população entre 15 e 64 anos; taxa de urbanização; eficiência energética	Dados em painel. Mínimos quadrados parciais	Crescimento econômico causa o maior impacto e população não-dependente, o menor; esta última categoria tem impacto negativo para países de alta renda e o contrário para os de renda mais baixa, denotando o padrão de consumo e comportamento; PIBpc é mais importante para países de baixa renda e intensidade energética para de renda mais elevada.
Silva <i>et al.</i> (2015)	12 países sul-americanos	1970 a 2010 (periodicidade de 5 anos)	Emissão de CO ₂	PIBpc, PIB, população total, população desagregada (3 faixas, de 15 em 15 anos, a partir de 20 anos de idade), % da população urbana, consumo total de energia	2 modelos testados. Dados em painel utilizando Mínimos Quadrados Generalizados (MQG)	População é a variável de maior impacto; em especial, a faixa etária de 20 a 34 anos, que exerce impacto negativo sobre as emissões de CO ₂ ; % de urbanização também é robusta, juntamente com intensidade energética; a tendência mostra uma busca por energias “mais limpas”.
Shahbaz <i>et al.</i> (2015)	Malásia	1970 a 2011, dados trimestrais	Consumo de energia pc	PIB pc real, capitalização, abertura comercial pc, taxa de urbanização pc	ARDL	Urbanização é a maior propulsora do consumo de energia per capita; afluência econômica

			(<i>proxy</i> para poluição)			aumenta e estoque de capital propuliona tal consumo; causalidade bidirecional entre consumo de energia e abertura comercial.
Honma (2015)	98 países, divididos em OCDE e não-OCDE	1970-2008	Eficiência ambiental (Emissão de SO ₂ , CO ₂ , NO _x e material particulado)	PIB pc, razão capital/trabalho e abertura comercial	Dados em painel. Modelo de Análise de Envolvimento de Dados	Abertura comercial é positivamente correlacionada com a eficiência ambiental, mas varia conforme o nível de renda per capita dos países, com os países mais ricos se beneficiando mais desta abertura.
Ben Zineb (2016)	176 países	1995 a 2012	Emissão de CO ₂	PIBpc, cresc. pop., consumo de energia, índice de liberdade civil, taxa de abertura comercial, intensidade da abertura comercial	2 modelos testado. Dados em painel utilizando Mínimos Quadrados Generalizados (MQG)	CKA para amostra total e desagregada entre países desenvolvidos e em desenvolvimento; comércio internacional aumenta a poluição para todos os recortes; hipótese do refúgio de poluição confirmada para países em desenvolvimento; comércio entre países desenvolvidos diminui a poluição.
Ameer e Munir (2016)	11 países asiáticos (Bangladesh, Hong Kong, Índia, Indonésia, Iran, Malásia, Paquistão, Filipinas, Singapura, Sri Lanka e Tailândia)	1980 a 2014	Emissão de CO ₂ e SO ₂	Taxa de urbanização, uso de energia, taxa de abertura comercial, crescimento do PIBpc e seu termo quadrático.	Dados em painel	Impacto maior do crescimento do PIBpc e da tecnologia sobre as emissões, e causalidade de longo prazo entre as variáveis emissão de CO ₂ e liberdade comercial). Para SO ₂ , há existência da Curva de Kuznets Ambiental (abertura comercial e tecnologia impactam

						positivamente as emissões, enquanto a taxa de urbanização tem impacto negativo).
Uddin <i>et al.</i> (2016)	Austrália	1960 a 2014	Pegada ecológica	População total; % da população não-dependente; PIBpc e seu termo quadrático; % da população urbana; % do PIB de origem industrial; uso de energia per capita; intensidade energética; emissão per capita de CO ₂	6 modelos testados. Método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e “Ridge Regression” (RR) para corrigir multicolinearidade	O modelo que melhor se ajustou foi utilizando população, PIBpc e % de urbanização, que conjuntamente respondem por 86% da variação da pegada ecológica (destaque para urbanização com peso quase idêntico ao da população). Sinal negativo de PIBpc, denotando o nível de desenvolvimento avançado do país.

Fonte: elaboração própria.

Anexo II – Variáveis e definição

Quadro A.II - Variáveis e definição

Variável	Nome	Definição
DMC	Consumo Doméstico de Materiais	Mensura a quantidade total de materiais usados diretamente em um sistema econômico. DMC é igual à soma da extração doméstica e das importações líquidas.
MFoot	Pegada Material ou Consumo de Matérias Primas	Ilustra o uso final doméstico de produtos em termos de equivalentes de matéria-prima. Assim, a RMC captura a quantidade de extração interna e externa de materiais necessária ao longo de todas as cadeias de abastecimento para produzir os produtos finais consumidos em um país. RMC é igual à soma de Extração Doméstica (DE) mais Importações em Equivalentes de Matéria-Prima (IMP-RME) menos as exportações em Equivalentes de Matéria-Prima (EXP-RME).
ENERUSE	Uso de energia per capita	O uso de energia se refere ao uso de energia primária antes da transformação em outros combustíveis de uso final, que é igual à produção local mais as importações e mudanças de estoque, menos as exportações e os combustíveis fornecidos a navios e aeronaves que operam no transporte internacional.

CO2	Emissão territorial de CO2	Emissões de dióxido de carbono atribuídas ao país em que ocorrem fisicamente. Para obter mais informações, consulte: Seção 2.1.1, Global Carbon Budget 2020, Friedlingstein et al. 2020. - Carvão: Emissões de dióxido de carbono pela oxidação do carvão. - Óleo: Emissões de dióxido de carbono pela oxidação do óleo. - Gás: Emissões de dióxido de carbono pela oxidação de gás. - Queima de gás: Emissões de dióxido de carbono da combustão do gás natural ventilado e da liberação de CO2 na indústria de petróleo e gás, convertendo metano em dióxido de carbono. - Cimento: Emissões de dióxido de carbono por reações químicas na fabricação de cimento.
CO2eq	Emissão territorial de gases de efeito estufa (equivalentes em CO2)	As emissões totais de gases de efeito estufa em kton de CO2 equivalente são compostas por totais de CO2, excluindo queima de biomassa de ciclo curto (como queima de resíduos agrícolas e queima de savana), mas incluindo outras queima de biomassa (como incêndios florestais, decomposição pós-queima, queima de turfa e decomposição de turfeiras drenadas), todas as fontes antropogênicas de CH4, fontes de N2O e gases F (HFCs, PFCs e SF6).
CO2cons	Emissão de CO2 embutido no consumo	Emissões de dióxido de carbono ocorridas em qualquer parte do mundo atribuídas ao país no qual os bens e serviços são consumidos. Para obter mais informações, consulte: Seção 2.1.3, Global Carbon Budget 2020, Friedlingstein et al. 2020.
ECI	Índice de Complexidade Econômica	Já descrito no ensaio – seção 2.2.4
TRADE	Corrente de comércio em relação ao PIB	O comércio é a soma das exportações e importações de bens e serviços, medida como uma parcela do Produto Interno Bruto.
FDIinflow	Entrada de Investimento Estrangeiro Direto em relação ao PIB	O investimento estrangeiro direto é a entrada líquida de investimento para adquirir uma participação gerencial duradoura (10% ou mais das ações com direito a voto) em uma empresa que opera em uma economia diferente da do investidor. É a soma do capital próprio, reinvestimento de lucros, outro capital de longo prazo e capital de curto prazo, conforme mostrado no balanço de pagamentos. Esta série mostra entradas líquidas (entradas de novos investimentos menos desinvestimento) na economia declarante de investidores estrangeiros e é dividido pelo PIB.
FREEDOM	Índice de Liberdade Econômica	Com base em 12 fatores quantitativos e qualitativos, agrupados em quatro grandes categorias, ou pilares, da liberdade econômica: - Estado de Direito (direitos de propriedade, integridade do governo, eficácia judicial) - Tamanho do governo (gastos do governo, carga tributária, saúde fiscal) - Eficiência regulatória (liberdade de negócios, liberdade de trabalho, liberdade monetária) - Mercados abertos (liberdade comercial, liberdade de investimento, liberdade financeira) Cada uma das doze liberdades econômicas dentro dessas categorias é classificada em uma escala de 0 a 100. A pontuação geral de um país é derivada pela média dessas doze liberdades econômicas, com peso igual sendo dado a cada uma. Mais informações sobre a classificação e metodologia podem ser encontradas no apêndice.
URB	Taxa de urbanização	População urbana refere-se às pessoas que vivem em áreas urbanas, conforme definido pelos institutos nacionais de estatística. Os dados são coletados e uniformizados pela Divisão de População das Nações Unidas.

AGRIC	Participação da agricultura no valor adicionado do PIB	A agricultura corresponde às divisões 1 a 5 do ISIC e inclui silvicultura, caça e pesca, bem como o cultivo de safras e a produção de gado. O valor agregado é o produto líquido de um setor após somar todos os produtos e subtrair os insumos intermediários. É calculado sem fazer deduções para depreciação de ativos fabricados ou esgotamento e degradação de recursos naturais. A origem do valor adicionado é determinada pela International Standard Industrial Classification (ISIC), revisão 3. Nota: Para os países VAB, o valor bruto adicionado ao custo do fator é usado como o denominador.
SERVICE	Participação dos serviços no valor adicionado do PIB	Os serviços correspondem às divisões ISIC 50-99 e incluem valor agregado no comércio por atacado e varejo (incluindo hotéis e restaurantes), transporte e serviços governamentais, financeiros, profissionais e pessoais, como educação, saúde e serviços imobiliários. Também estão incluídos os encargos de serviço bancário imputados, direitos de importação e quaisquer discrepâncias estatísticas observadas pelos compiladores nacionais, bem como discrepâncias decorrentes do reescalonamento. O valor agregado é o produto líquido de um setor após somar todos os produtos e subtrair os insumos intermediários. É calculado sem fazer deduções para depreciação de ativos fabricados ou esgotamento e degradação de recursos naturais. A origem industrial do valor adicionado é determinada pela International Standard Industrial Classification (ISIC), revisão 3 ou 4.
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo em relação ao PIB	A formação bruta de capital fixo (anteriormente investimento fixo interno bruto) inclui melhorias na terra (cercas, valas, drenos e assim por diante); aquisição de plantas, maquinários e equipamentos; e a construção de estradas, ferrovias e semelhantes, incluindo escolas, escritórios, hospitais, residências particulares e edifícios comerciais e industriais. De acordo com o SCN de 1993, as aquisições líquidas de objetos de valor também são consideradas formação de capital.
REC	Participação de energias de fontes renováveis em relação ao consumo total de energia	O consumo de energia renovável é a parcela da energia renovável no consumo total de energia final.
FFC	Participação de energias de fontes fósseis em relação ao consumo total de energia	O combustível fóssil compreende carvão, petróleo, petróleo e produtos de gás natural.

Fonte: elaboração própria.

Anexo III – Listas de países

Subamostra de países menos desenvolvidos: Albânia, Argélia, Angola, Austrália, Azerbaijão, Bangladesh, Bolívia, Botswana, Camboja, Camarões, Chile, Costa do Marfim, República Democrática do Congo, República Dominicana, Equador, Egito, El Salvador, Etiópia, Gabão, Gana, Guatemala, Guiné, Honduras, Indonésia, Irã, Jamaica, Cazaquistão, Quênia, Kuwait, Laos, Madagascar, Mauritânia, Mongólia, Marrocos, Moçambique, Namíbia, Nicarágua, Nigéria, Omã, Paquistão, Paraguai, Peru, Catar, República do Congo, Senegal,

Sri Lanka, Tanzânia, Togo, Trinidad e Tobago, Tunísia, Turcomenistão, Emirados Árabes Unidos, Uzbequistão, Venezuela, Vietnã, Iêmen, Zâmbia e Zimbábue.

Subamostra de países mais desenvolvidos: Argentina, Áustria, Bélgica, Bósnia e Herzegovina, Brasil, Bulgária, Canadá, China, Colômbia, Costa Rica, Croácia, República Tcheca, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Geórgia, Alemanha, Grécia, Hungria, Índia, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Jordânia, Lituânia, Líbano, Malásia, México, Moldávia, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Panamá, Filipinas, Polônia, Portugal, Romênia, Rússia, Arábia Saudita, Sérvia, Singapura, Eslováquia, África do Sul, Coreia do Sul, Espanha, Suécia, Suíça, Tailândia, Turquia, Ucrânia, Reino Unido, Estados Unidos da América e Uruguai.

Anexo IV - Resultados das regressões por Efeitos Fixos - Amostra completa

Tabela A-IV.1 – Estatísticas descritivas – Amostra completa

Variável	Obs.	Média	Desvio-Padrão	Valor mínimo	Valor máximo
IntDMC	2241	0,398	0,891	0,011	11,773
IntMFoot	2398	0,002	0,002	0	0,014
IntENERUSE	2398	0,002	0,001	0	0,008
IntCO2	2396	0,611	0,629	0,056	5,347
IntCO2cons	2136	0,599	0,399	-0,06	3,988
IntCO2eq	2014	132395,18	435562,44	707,277	4116711,3
ECI	2358	0,027	0,996	-2,791	2,625
ECP	2358	0,992	1,209	0	7,792
URB	2415	60,378	20,436	13,827	100
AGRIC	2396	10,288	9,694	0,033	56,544
SERVICE	2354	52,425	10,386	16,911	77,02
FBCF	2268	23,118	6,466	2	79,158
TRADE	2343	81,195	43,727	15,636	437,327
FREEDOM	2343	60,822	10,285	21,4	89,4
REC	2415	29,887	28,075	0	98,343
FFC	2208	69,166	26,583	1,64	100,629
FDIinflow	2396	4,249	6,12	-15,745	86,589
ENERUSE	2246	2456,313	2697,2	135,949	22120,372

Fonte: elaboração própria.

Tabela A-IV.2 – Ranking de correlação de coeficientes de Spearman – Amostra completa

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	
(1) lnIntDMC	1,000																		
(2) lnIntMFoot	0,772	1,000																	
(3) lnIntENERUSE	0,723	0,876	1,000																
(4) lnIntCO2	0,670	0,516	0,485	1,000															
(5) lnIntCO2cons	0,702	0,582	0,575	0,904	1,000														
(6) lnIntCO2eq	0,611	0,566	0,468	0,397	0,334	1,000													
(7) ECI	-0,545	-0,760	-0,641	-0,244	-0,258	-0,413	1,000												
(8) ECI ²	-0,192	-0,333	-0,310	-0,370	-0,305	-0,055	0,306	1,000											
(9) lnURB	-0,616	-0,634	-0,601	-0,276	-0,369	-0,417	0,592	0,044	1,000										
(10) lnAGRIC	0,686	0,814	0,730	0,342	0,365	0,548	-0,801	-0,299	-0,748	1,000									
(11) lnSERVICE	-0,593	-0,665	-0,588	-0,444	-0,434	-0,512	0,594	0,173	0,548	-0,711	1,000								
(12) lnFBCF	0,004	-0,009	0,023	0,182	0,185	-0,116	0,117	0,049	-0,059	-0,085	-0,092	1,000							
(13) lnTRADE	0,014	-0,028	0,041	0,111	0,242	-0,469	0,148	0,094	-0,036	-0,159	0,039	0,209	1,000						
(14) lnFREEDOM	-0,599	-0,557	-0,468	-0,433	-0,412	-0,570	0,527	0,156	0,577	-0,674	0,627	0,068	0,220	1,000					
(15) lnREC	0,283	0,434	0,362	-0,272	-0,199	0,167	-0,545	-0,100	-0,559	0,596	-0,300	-0,173	-0,165	-0,273	1,000				
(16) lnFFC	-0,230	-0,280	-0,233	0,365	0,237	-0,057	0,324	-0,108	0,440	-0,418	0,152	0,156	0,013	0,146	-0,865	1,000			
(17) lnFDinflow	-0,084	0,009	-0,001	0,031	0,124	-0,288	0,089	-0,012	0,124	-0,135	0,049	0,167	0,456	0,221	-0,123	0,070	1,000		
(18) lnENERUSE	-0,342	-0,675	-0,592	-0,127	-0,207	-0,352	0,726	0,257	0,629	-0,768	0,495	0,140	0,071	0,491	-0,569	0,413	0,022	1,000	

Spearman rho = 0,022

Fonte: elaboração própria.

Tabela A-IV.3 - Coeficientes das regressões - lnIntDMC – Amostra completa

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,051	0,019	0,012	0,025
<i>ECI²</i>	-0,013	-0,018	-0,064***	-0,056**
<i>lnTRADE</i>		0,021	-0,026	-0,051
<i>lnFDIinflow</i>		0,007	-0,001	0,004
<i>lnFREEDOM</i>		-0,125	-0,087	-0,166
<i>lnURB</i>			-0,325*	-0,307
<i>lnAGRIC</i>			0,096*	0,086
<i>lnSERVICE</i>			-0,260***	-0,333***
<i>lnFBCF</i>			0,052	0,060
<i>lnREC</i>			-0,116***	
<i>lnFFC</i>				0,086
<i>lnENERUSE</i>			0,210***	0,353***
<i>Constante</i>	-6,431***	-5,911***	-5,149***	-6,215***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “***”: estatisticamente significativa a 5%; e “****” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-IV.4 – Coeficientes das regressões – lnIntMFoot – Amostra Completa

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,022	-0,010	0,066	0,060
<i>ECI²</i>	-0,026	-0,026	-0,009	-0,018
<i>lnTRADE</i>		-0,167	-0,167	-0,130
<i>lnFDIinflow</i>		0,005	0,006	0,004
<i>lnFREEDOM</i>		0,167	-0,139	-0,112
<i>lnURB</i>			-0,801*	-0,791
<i>lnAGRIC</i>			-0,029	-0,033
<i>lnSERVICE</i>			0,237	0,252
<i>lnFBCF</i>			0,159**	0,160***
<i>lnREC</i>			0,088	
<i>lnFFC</i>				-0,109
<i>lnENERUSE</i>			0,073	-0,018
<i>Constante</i>	-6,535***	-6,428***	-4,137*	-3,169

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “***”: estatisticamente significativa a 5%; e “****” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-IV.5 – Coeficientes das regressões – lnIntENERUSE – Amostra Completa

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,063	0,017	-0,002	0,021
<i>ECI²</i>	-0,022	-0,027	-0,041**	-0,032*
<i>lnTRADE</i>		-0,003	-0,026	-0,012
<i>lnFDIinflow</i>		0,010	0,004	0,011
<i>lnFREEDOM</i>		-0,537***	-0,397***	-0,430***
<i>lnURB</i>			0,236	0,646**
<i>lnAGRIC</i>			0,060	0,046
<i>lnSERVICE</i>			-0,288	-0,349*
<i>lnFBCF</i>			-0,043	0,013
<i>lnREC</i>			-0,088***	
<i>lnFFC</i>				-0,354***
<i>Constante</i>	-1,428***	0,889*	0,833	0,570

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-IV.6 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2 – Amostra Completa

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,087	0,065	-0,014	-0,010
<i>ECI²</i>	-0,011	-0,020	-0,086***	-0,068***
<i>lnTRADE</i>			0,123**	0,066
<i>lnFDIinflow</i>			0,010	0,011
<i>lnFREEDOM</i>			-0,358***	-0,495***
<i>lnURB</i>			0,713**	0,508*
<i>lnAGRIC</i>			0,126*	0,126*
<i>lnSERVICE</i>			0,076	0,04
<i>lnFBCF</i>			0,063	0,042
<i>lnREC</i>			-0,172***	
<i>lnFFC</i>				0,491***
<i>lnENERUSE</i>			0,344***	0,524***
<i>Constante</i>	-0,807***	0,357	-5,274***	-7,098***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-IV.7 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2eq – Amostra Completa

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,059	0,013	-0,006	0,022
<i>ECI²</i>	-0,013	-0,015	-0,050	-0,039
<i>lnTRADE</i>			0,131	0,098
<i>lnFDIinflow</i>			-0,001	0,001
<i>lnFREEDOM</i>			-0,643***	-0,768***
<i>lnURB</i>			0,038	0,089
<i>lnAGRIC</i>			0,107	0,111
<i>lnSERVICE</i>			0,043	-0,038
<i>lnFBCF</i>			-0,049	-0,035
<i>lnREC</i>			-0,179***	
<i>lnFFC</i>				0,149
<i>lnENERUSE</i>			-0,031	0,142
<i>Constante</i>	9,846***	12,392***	12,279***	10,653***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-IV.8 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2cons – Amostra Completa

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,121	0,101	0,035	0,040
<i>ECI²</i>	-0,013	-0,015	-0,054*	-0,037
<i>lnTRADE</i>			0,044	-0,025
<i>lnFDIinflow</i>			0,018**	0,018**
<i>lnFREEDOM</i>			-0,424***	-0,534***
<i>lnURB</i>			0,613*	0,411
<i>lnAGRIC</i>			0,063	0,064
<i>lnSERVICE</i>			-0,088	-0,157
<i>lnFBCF</i>			0,169**	0,142
<i>lnREC</i>			-0,163***	
<i>lnFFC</i>				0,448***
<i>lnENERUSE</i>			0,137	0,313***
<i>Constante</i>	-0,688***	0,860	-2,301	-3,966**

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Anexo V – Resultados das regressões por Efeitos Fixos – Subamostra de países menos complexos

Tabela A-V.1 – Estatísticas descritivas - Subamostra de países menos complexos

Variável	Obs	Média	Desvio-Padrão	Valor mínimo	Valor máximo
IntENERUSE	1072	0,583	1,245	0,034	11,773
IntDMC	1212	0,003	0,002	0	0,014
IntMFoot	1212	0,002	0,002	0	0,011
IntCO2	1212	0,671	0,724	0,059	5,347
IntCO2cons	1023	0,685	0,611	-0,409	7,194
IntCO2eq	1027	135064,23	379276,66	730,465	3071645,8
ECI	1173	-0,77	0,502	-2,791	0,563
ECP ²	1173	0,845	0,966	0	7,792
URB	1218	50,89	20,229	13,827	100
AGRIC	1204	15,283	10,617	0,094	56,544
SERVICE	1162	46,861	9,632	16,911	77,02
FBCF	1071	23,444	7,651	2	79,158
TRADE	1146	74,599	28,181	21,447	178,767
FREEDOM	1175	56,562	9,618	21,4	83,1
REC	1218	42,06	32,58	0	98,343
FFC	1039	60,802	32,535	1,64	100,629
FDIinflow	1216	3,927	5,284	-8,703	55,076
ENERUSE	1077	1960,488	3358,862	135,949	22120,372

Fonte: elaboração própria.

Tabela A-V.2 – Ranking de correlação de coeficientes de Spearman

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	
(1) lnIntENERUSE	1,000																		
(2) lnIntDMC	0,600	1,000																	
(3) lnIntMFoot	0,543	0,721	1,000																
(4) lnIntCO2	0,164	0,101	0,070	1,000															
(5) lnIntCO2cons	0,310	0,343	0,313	0,797	1,000														
(6) lnIntCO2eq	0,626	0,457	0,309	-0,032	0,029	1,000													
(7) ECI	-0,436	-0,339	-0,344	0,246	0,124	-0,477	1,000												
(8) ECI ²	0,427	0,341	0,357	-0,240	-0,116	0,472	-0,993	1,000											
(9) lnURB	-0,622	-0,408	-0,385	0,204	-0,062	-0,494	0,439	-0,442	1,000										
(10) lnAGRIC	0,658	0,525	0,527	-0,135	0,043	0,549	-0,555	0,566	-0,741	1,000									
(11) lnSERVICE	-0,169	-0,257	-0,176	-0,062	-0,086	-0,430	0,238	-0,250	0,142	-0,375	1,000								
(12) lnFBCF	-0,157	-0,085	-0,155	0,198	0,120	-0,040	0,130	-0,113	0,114	-0,173	-0,153	1,000							
(13) lnTRADE	-0,022	0,125	0,132	0,203	0,362	-0,276	0,085	-0,077	0,017	-0,042	-0,164	0,117	1,000						
(14) lnFREEDOM	-0,514	-0,204	-0,210	-0,271	-0,236	-0,550	0,321	-0,328	0,393	-0,450	0,327	0,032	0,120	1,000					
(15) lnREC	0,489	0,344	0,280	-0,629	-0,404	0,424	-0,487	0,482	-0,684	0,658	-0,095	-0,316	-0,109	-0,228	1,000				
(16) lnFFC	-0,440	-0,322	-0,283	0,669	0,413	-0,370	0,462	-0,458	0,649	-0,626	0,101	0,308	0,030	0,173	-0,980	1,000			
(17) lnFDIinflow	-0,098	0,255	0,144	0,195	0,287	-0,167	0,110	-0,095	0,124	-0,085	0,007	0,113	0,313	0,229	-0,198	0,194	1,000		
(18) lnENERUSE	-0,106	-0,334	-0,271	0,273	0,048	-0,265	0,447	-0,458	0,516	-0,588	0,210	0,216	-0,048	0,173	-0,509	0,516	-0,078	1,000	

Spearman rho = -0,078

Fonte: elaboração própria.

Tabela A-V.3 - Coeficientes das regressões - lnIntDMC – Subamostra de países menos complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,258***	0,219***	0,172**	0,217***
<i>ECI²</i>	0,078***	0,077**	0,025	0,051
<i>lnTRADE</i>			0,008	0,007
<i>lnFDIinflow</i>			0,004	0,012
<i>lnFREEDOM</i>			-0,267**	-0,395***
<i>lnURB</i>			-154	-0,197
<i>lnAGRIC</i>			0,058	0,020
<i>lnSERVICE</i>			-0,263***	-0,325***
<i>lnFBCF</i>			-0,006	-0,011
<i>lnREC</i>			-0,170***	
<i>lnFFC</i>				0,131
<i>lnENERUSE</i>			0,192*	0,363***
<i>Constante</i>	-5,775***	-5,532***	-3,996**	-5,111***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-V.4 – Coeficientes das regressões – lnIntMFoot – Subamostra de países menos complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,231	0,167	0,191*	0,172
<i>ECI²</i>	0,067	0,064	0,066	0,070*
<i>lnTRADE</i>		-0,149*	-0,206**	-0,154*
<i>lnFDIinflow</i>		0,017	0,024	0,016
<i>lnFREEDOM</i>		-0,140	-0,427**	-0,543***
<i>lnURB</i>			-0,067	0,126
<i>lnAGRIC</i>			-0,055	-0,022
<i>lnSERVICE</i>			-0,034	0,033
<i>lnFBCF</i>			0,082*	0,104**
<i>lnREC</i>			-0,129	
<i>lnFFC</i>				-0,014
<i>lnENERUSE</i>			0,091	0,089
<i>Constante</i>	-6,154***	-4,862***	-3,333	-4,600

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-V.5 – Coeficientes das regressões – lnIntENERUSE – Subamostra de países menos complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,183	0,145	0,178*	0,216*
<i>ECI²</i>	0,025	0,033	0,030	0,034
<i>lnTRADE</i>		0,045	0,011	0,113
<i>lnFDIinflow</i>		0,010	0,008	0,016
<i>lnFREEDOM</i>		-0,546***	-0,435***	-0,416**
<i>lnURB</i>			-0,683*	-0,374
<i>lnAGRIC</i>			0,060	0,025
<i>lnSERVICE</i>			-0,241	-0,227
<i>lnFBCF</i>			-0,014	0,039
<i>lnREC</i>			-0,113	
<i>lnFFC</i>				-0,469***
<i>Constante</i>	-0,972***	1,038*	4,474**	4,138**

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-V.6 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2 – Subamostra de países menos complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,294*	0,275*	0,142	0,172
<i>ECI²</i>	0,076	0,071	-0,011	0,022
<i>lnTRADE</i>		0,255***	0,250***	0,218**
<i>lnFDIinflow</i>		0,021	0,015	0,017
<i>lnFREEDOM</i>		-0,141	-0,395***	-0,587***
<i>lnURB</i>			0,533**	0,373
<i>lnAGRIC</i>			0,150	0,129
<i>lnSERVICE</i>			0,262**	0,203
<i>lnFBCF</i>			0,097	0,071
<i>lnREC</i>			-0,194	
<i>lnFFC</i>				0,390***
<i>lnENERUSE</i>			0,348**	0,523***
<i>Constante</i>	-0,560***	-1,067	-5,381***	-6,783***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-V.7 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2eq – Subamostra de países menos complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,199	0,171	0,229*	0,260*
<i>ECI²</i>	0,042	0,060	0,066	0,074
<i>lnTRADE</i>		0,210	0,339**	0,354**
<i>lnFDIinflow</i>		0,009	0,003	0,008
<i>lnFREEDOM</i>		-0,629**	-0,598**	-0,718***
<i>lnURB</i>			-1,373**	-1,339**
<i>lnAGRIC</i>			0,065	0,042
<i>lnSERVICE</i>			0,254	0,151
<i>lnFBCF</i>			-0,010	0,002
<i>lnREC</i>			-0,108	
<i>lnFFC</i>				0,022
<i>lnENERUSE</i>			-0,156	-0,054
<i>Constante</i>	10,412***	11,893***	16,782***	16,390***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-V.8 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2cons – Subamostra de países menos complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	0,263*	0,231	0,151	0,180
<i>ECI²</i>	0,055	0,050	0,025	0,049
<i>lnTRADE</i>		0,172**	0,149	0,105
<i>lnFDIinflow</i>		0,046***	0,037**	0,039**
<i>lnFREEDOM</i>		-0,159	-0,248	-0,367*
<i>lnURB</i>			0,215	0,008
<i>lnAGRIC</i>			0,294*	0,262
<i>lnSERVICE</i>			0,047	-0,040
<i>lnFBCF</i>			0,137*	0,095
<i>lnREC</i>			-0,096	
<i>lnFFC</i>				0,334**
<i>lnENERUSE</i>			-0,015	0,137
<i>Constante</i>	-0,418***	-0,560	-1,902	-2,492

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Anexo VI – Resultados das regressões por Efeitos Fixos – Subamostra dos países mais complexos

Tabela A-VI.1 – Estatísticas descritivas - Subamostra dos países mais complexos

Variável	Obs	Média	Desvio-Padrão	Valor mínimo	Valor máximo
IntENERUSE	1169	0,227	0,198	0,011	1,687
IntDMC	1186	0,001	0,001	0	0,007
IntMFoot	1186	0,001	0,001	0	0,006
IntCO2	1184	0,549	0,506	0,056	4,638
IntCO2cons	1113	0,551	0,388	0,082	3,191
IntCO2eq	987	124840,62	486834,17	707,277	4116711,3
ECI	1185	0,817	0,685	-0,587	2,625
ECI ²	1185	1,136	1,395	0	6,89
URB	1197	70,031	15,544	26,607	100
AGRIC	1192	5,243	4,94	0,033	33,152
SERVICE	1192	57,849	7,937	31,126	76,796
FBCF	1197	22,827	5,166	4,033	44,519
TRADE	1197	87,509	53,873	15,636	437,327
FREEDOM	1168	65,109	9,087	29,4	89,4
REC	1197	17,5	14,362	0,006	60,188
FFC	1169	76,599	16,645	13,056	99,997
FDinflow	1180	4,58	6,862	-15,745	86,589
ENERUSE	1169	2913,116	1775,988	385,092	8455,547

Fonte: elaboração própria.

Tabela A-VI.2 - Ranking de correlação de coeficientes de Spearman

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	
(1) lnIntENERUSE	1,000																		
(2) lnIntDMC	0,828	1,000																	
(3) lnIntMFoot	0,748	0,890	1,000																
(4) lnIntCO2	0,923	0,796	0,705	1,000															
(5) lnIntCO2cons	0,879	0,774	0,747	0,922	1,000														
(6) lnIntCO2eq	0,515	0,496	0,387	0,549	0,366	1,000													
(7) ECI	-0,455	-0,696	-0,585	-0,427	-0,339	-0,300	1,000												
(8) ECI ²	-0,446	-0,694	-0,579	-0,420	-0,327	-0,308	0,991	1,000											
(9) lnURB	-0,459	-0,407	-0,396	-0,451	-0,424	-0,202	0,267	0,254	1,000										
(10) lnAGRIC	0,623	0,797	0,676	0,555	0,461	0,445	-0,763	-0,761	-0,487	1,000									
(11) lnSERVICE	-0,630	-0,614	-0,501	-0,591	-0,488	-0,385	0,438	0,430	0,535	-0,705	1,000								
(12) lnFBCF	0,155	0,066	0,144	0,177	0,222	-0,104	0,142	0,145	-0,258	-0,005	-0,211	1,000							
(13) lnTRADE	0,075	-0,023	0,006	0,078	0,168	-0,453	0,128	0,146	-0,170	-0,147	-0,088	0,277	1,000						
(14) lnFREEDOM	-0,488	-0,521	-0,437	-0,479	-0,422	-0,448	0,399	0,403	0,451	-0,589	0,543	0,075	0,272	1,000					
(15) lnREC	-0,035	0,116	0,083	-0,230	-0,258	-0,150	-0,366	-0,366	-0,256	0,353	-0,185	-0,024	-0,167	-0,088	1,000				
(16) lnFFC	0,072	0,071	0,088	0,303	0,263	0,280	0,058	0,055	0,113	-0,110	0,034	-0,049	-0,064	-0,064	-0,728	1,000			
(17) lnFDIinflow	0,015	0,032	0,038	-0,016	0,113	-0,332	0,054	0,072	0,064	-0,101	0,017	0,126	0,440	0,183	-0,049	-0,053	1,000		
(18) lnENERUSE	-0,213	-0,557	-0,513	-0,253	-0,230	-0,308	0,663	0,664	0,385	-0,643	0,335	0,066	0,085	0,448	-0,334	0,087	0,021	1,000	

Spearman rho = 0.021

Fonte: elaboração própria.

Tabela A-VI.3 - Coeficientes das regressões - lnIntDMC – Subamostra de países mais complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	-0,151	-0,042	0,011	0,011
<i>ECI²</i>	0,057	-0,022	-0,084**	-0,072**
<i>lnTRADE</i>		-0,065	-0,066	-0,090
<i>lnFDIinflow</i>		0,000	0,001	0,001
<i>lnFREEDOM</i>		0,080	0,191	0,168
<i>lnURB</i>			-0,521**	-0,481**
<i>lnAGRIC</i>			0,081	0,090
<i>lnSERVICE</i>			-0,546***	-0,537***
<i>lnFBCF</i>			0,126*	0,140**
<i>lnREC</i>			-0,086**	
<i>lnFFC</i>				-0,016
<i>lnENERUSE</i>			0,282***	0,366***
<i>Constante</i>	-6,913***	-6,788***	-5,410***	-6,252***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-VI.4 – Coeficientes das regressões – lnIntMFoot – Subamostra de países mais complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	-0,185	-0,231	-0,002	-0,003
<i>ECI²</i>	0,049	0,064	0,013	-0,004
<i>lnTRADE</i>		-0,239	-0,209	-0,170
<i>lnFDIinflow</i>		-0,006	-0,001	-0,001
<i>lnFREEDOM</i>		0,514***	0,112	0,154
<i>lnURB</i>			-1,022	-1,058
<i>lnAGRIC</i>			-0,004	-0,020
<i>lnSERVICE</i>			0,426	0,419
<i>lnFBCF</i>			0,222*	0,199*
<i>lnREC</i>			0,133	
<i>lnFFC</i>				-0,087
<i>lnENERUSE</i>			0,111	-0,006
<i>Constante</i>	-6,746***	-7,799***	-5,672**	-4,147

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “***”: estatisticamente significativa a 5%; e “****” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-VI.5 – Coeficientes das regressões – lnIntENERUSE – Subamostra de países mais complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	-0,148	-0,064	-0,136**	-0,154***
<i>ECI²</i>	0,068	-0,004	0,003	0,026
<i>lnTRADE</i>		-0,028	-0,059	-0,072
<i>lnFDIinflow</i>		0,004	0,002	0,002
<i>lnFREEDOM</i>		-0,439**	-0,108	-0,136
<i>lnURB</i>			0,913***	1,071***
<i>lnAGRIC</i>			0,056	0,064
<i>lnSERVICE</i>			-0,478***	-0,461***
<i>lnFBCF</i>			-0,108**	-0,079
<i>lnREC</i>			-0,061	
<i>lnFFC</i>				-0,162
<i>Constante</i>	-1,725***	0,403	-2,302	-2,410

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “***”: estatisticamente significativa a 5%; e “****” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-VI.6 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2 – Subamostra de países mais complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	-0,213*	-0,029	-0,093*	-0,072
<i>ECI²</i>	0,114	-0,004	-0,060**	-0,057**
<i>lnTRADE</i>		-0,030	-0,016	-0,063
<i>lnFDIinflow</i>		0,008	0,002	0,002
<i>lnFREEDOM</i>		-0,452*	-0,141	-0,175
<i>lnURB</i>			0,437	0,320
<i>lnAGRIC</i>			0,035	0,054
<i>lnSERVICE</i>			-0,539***	-0,571***
<i>lnFBCF</i>			-0,101	-0,091
<i>lnREC</i>			-0,127***	
<i>lnFFC</i>				0,527***
<i>lnENERUSE</i>			0,419***	0,525***
<i>Constante</i>	-0,861***	1,345	-2,231	-4,734***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “**”: estatisticamente significativa a 5%; e “***”: estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-VI.7 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2eq – Subamostra de países mais complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	-0,252	0,011	-0,035	-0,025
<i>ECI²</i>	0,112	-0,048	-0,065	-0,050
<i>lnTRADE</i>		-0,003	-0,018	-0,058
<i>lnFDIinflow</i>		-0,002	-0,001	-0,002
<i>lnFREEDOM</i>		-0,688***	-0,362*	-0,400**
<i>lnURB</i>			0,489	0,484
<i>lnAGRIC</i>			0,109	0,126*
<i>lnSERVICE</i>			-0,343	-0,354
<i>lnFBCF</i>			-0,137*	-0,131*
<i>lnREC</i>			-0,136***	
<i>lnFFC</i>				0,246
<i>lnENERUSE</i>			0,031	0,150
<i>Constante</i>	9,440***	12,479***	10,893***	8,938***

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “***”: estatisticamente significativa a 5%; e “****” estatisticamente significativa a 1%.

Tabela A-VI.8 – Coeficientes das regressões – lnIntCO2cons – Subamostra de países mais complexos

Variável	Regressão 1	Regressão 2	Regressão 3	Regressão 4
<i>ECI</i>	-0,220**	--0,076	-0,139***	-0,125***
<i>ECI²</i>	0,113	0,016	-0,010	-0,011
<i>lnTRADE</i>		-0,123*	-0,143**	-0,178***
<i>lnFDIinflow</i>		0,008	0,002	0,002
<i>lnFREEDOM</i>		-0,407***	-0,125	-0,138
<i>lnURB</i>			0,367	0,276
<i>lnAGRIC</i>			0,052	0,060
<i>lnSERVICE</i>			-0,390**	-0,426**
<i>lnFBCF</i>			-0,057	-0,056
<i>lnREC</i>			-0,062**	
<i>lnFFC</i>				0,328***
<i>lnENERUSE</i>			0,303***	0,359***
<i>Constante</i>	-0,748***	1,637***	-1,441	-2,723

Fonte: elaboração própria. “*”: estatisticamente significativa a 10%; “***”: estatisticamente significativa a 5%; e “****” estatisticamente significativa a 1%.

2.4 Referências bibliográficas

ALVARENGA, S. M.; SOBRINHO, V. G. Indutores de impactos ambientais: uma análise comparativa entre BRICS e G7 (1992-2013). **Revista Economia Ensaios**, v. 32, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.14393/REE-v32n2a2018-5>.

AMEER, A., MUNIR, K. Effect of economic growth, trade openness, urbanization, and technology on environment of selected Asian countries. **MPRA Paper No. 74571**, 2016. Disponível em: <<https://mpra.ub.uni-muenchen.de/74571/>> Acesso em 01 de julho de 2019. DOI: 10.1108/MEQ-05-2018-0087.

APERGIS, N., CAN, M., GOZGOR, G., LAU, C. K. M. Effects of export concentration on CO₂ emissions in developed countries: an empirical analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 14, p. 14106-14116, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1634-x>.

ASICI, A. A.; ACAR, S. Does income growth relocate ecological footprint? **Ecological Indicators**, v. 61, p. 707-714, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.022>.

BARBOZA, M. M. **O Comércio Internacional e seus Impactos sobre o Meio Ambiente: Degradação ou Maior Sustentabilidade?** Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais). Departamento de Relações Internacionais, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

BEN ZINEB, S. International Trade and CO₂ Emissions: A Dynamic Panel Data Analysis by the STIRPAT Model. **Journal of Economics and Sustainable Development**. Vol. 7, No. 12, p.94-104, 2016. ISSN 2222-1700.

BRESSER-PEREIRA, L. C.. Principles of New Developmentalism. **Brazilian Journal of Political Economy**, 40(2), 189-192, 2020. <https://doi.org/10.1590/0101-31572020-3121>

CAN, M., DOGAN, B., SABOORI, B. Does trade matter for environmental degradation in developing countries? New evidence in the context of export product diversification. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08000-2>.

CAN, M., GOZGOR, G. The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 19, p. 16364-16370, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9219-7>.

CHU, L. K. Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. **Applied Economics Letters**, p. 1-5, 2020. <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1767280>.

COMMONER, B. A Bulletin Dialogue on "The Closing Circle": Response. **Bulletin of the Atomic Scientists**, 1972.

COMMONER, B. The failure of the environmental effort. **Current History**, v. 91, n. 564, p. 176, 1992.

CRUTZEN P.J. The "Anthropocene". In: Ehlers E., Krafft T. (eds) **Earth System Science in the Anthropocene**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. DOI: 10.1007/3-540-26590-2_3.

DESTEK, M. A., OKUMUS, I. Does pollution haven hypothesis hold in newly industrialized countries? Evidence from ecological footprint. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 23, p. 23689-23695, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05614-z>.

DESTEK, M. A., ULUCAK, R., DOGAN, E. Analyzing the environmental Kuznets curve for the EU countries: the role of ecological footprint. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 29, p. 29387-29396, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2911-4>.

DIETZ, T., ROSA, E. A. Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology. **Human Ecology Review** 1, p. 277-300, 1994.

DIETZ, T.; ROSA, E. A. Effects of population and affluence on CO2 emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 94, n. 1, p. 175-179, 1997. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>.

DOGAN, B., SABOORI, B., CAN, M. Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 31, p. 31900-31912, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06333-1>.

EHRlich, P., HOLDREN, J. Impact of Population Growth. **Science**, 171, p. 1212-17, 1971. DOI: 10.1126/science.171.3977.1212.

FAN, Y., LIU, L.C., WU, G., WEI, Y.M. Analyzing impact factors of CO2 emissions using the STIRPAT model. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 26, n. 4, p. 377-395, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.11.007>.

FARLEY, J. **Ecological Economics**. The Post Carbon Reader Series: Economy, 2010.

- GILJUM, S., EISENMENGER, N. North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: a biophysical perspective. **The Journal of Environment & Development**, v. 13, n. 1, p. 73-100, 2004. DOI: 10.1177/1070496503260974.
- GOZGOR, G. Does trade matter for carbon emissions in OECD countries? Evidence from a new trade openness measure. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 36, p. 27813-27821, 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-0361-z.
- GOZGOR, G., CAN, M. Export product diversification and the environmental Kuznets curve: evidence from Turkey. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 21, p. 21594-21603, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7403-9>.
- GRABARCZYK, P. et al. A cointegrating polynomial regression analysis of the material kuznets curve hypothesis. **Resources Policy**, v. 57, p. 236-245, 2018. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.03.009.
- HOLDREN, J. P.; EHRLICH, P. R. Human population and the global environment. **Readings in Environmental Impact**, v. 62, n. 3, p. 274, 1974.
- HONMA, S. Does international trade improve environmental efficiency? An application of a super slacks-based measure of efficiency. **Journal of Economic Structures**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2015. <https://doi.org/10.1186/s40008-015-0023-6>.
- HU, G. et al. The effect of import product diversification on carbon emissions: New evidence for sustainable economic policies. **Economic Analysis and Policy**, v. 65, p. 198-210, 2020. DOI: 10.1016/j.eap.2020.01.004.
- HUFBAUER, G. C.; JEFFREY, J. S. **North American Free Trade: Issues and Recommendation**. Washington DC: Institute for International Economics, 1992. <https://doi.org/10.2307/166036>.
- KELLOGG, R. **The pollution haven hypothesis: significance and insignificance**. 2006. Disponível em: < <https://ageconsearch.umn.edu/record/21191> > Acesso em 03 de julho de 2019. DOI: 10.22004/ag.econ.21191.
- KOSIFAKIS, G., KAMPAS, A., PAPADAS, C. T. Economic complexity and the environment: some estimates on their links. **International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics**, v. 6, n. 3, p. 261-271, 2020. <https://doi.org/10.1504/IJSAMI.2020.112117>.

LAWN, P. Scale, prices, and biophysical assessments. **Ecological Economics**, Vol 38, p.369-382, 2001. DOI: 10.1016/S0921-8009(01)00172-0.

NEAGU, O. The link between economic complexity and carbon emissions in the European Union countries: a model based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) approach. **Sustainability**, v. 11, n. 17, p. 4753, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11174753>.

NEAGU, O., TEODORU, M. C. The relationship between economic complexity, energy consumption structure and greenhouse gas emission: heterogeneous panel evidence from the EU countries. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 497, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11020497>.

NEAGU, O. Economic Complexity and Ecological Footprint: Evidence from the Most Complex Economies in the World. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 9031, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12219031>.

NOBRE, M., AMAZONAS, M. de C. **Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: Edições Ibama, 2002.

PATA, U. K. Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 1, p. 846-861, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10446-3>.

QUEIROZ, F. A. **Meio ambiente e comércio internacional**. 2ª Edição, Curitiba: Juruá, p.198, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-85292009000200002>.

ROMERO, J. P.; GRAMKOW, C. **Economic Complexity and Greenhouse Gas Emission Intensity**. Cambridge Centre for Economic and Public Policy, Department of Land Economy, CCEPP WPO3, University of Cambridge: Cambridge, MA, USA, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.30475.11041

ROSA, E. A., DIETZ, T. Climate Change and Society: Speculation, Construction and Scientific Investigation. **International Sociology** 13, p. 421-455, 1998. <https://doi.org/10.1177/026858098013004002>.

ROSA, E. A.; YORK, R.; DIETZ, T. Tracking the anthropogenic drivers of ecological impacts. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 33, n. 8, p. 509-513, 2004. DOI: 10.1579/0044-7447-33.8.509.

SHAHBAZ, M., SBIA, R. NATHAKUMAR, L., AFZA, T. The effect of urbanization, affluence and trade openness on energy consumption: A time series analysis in Malaysia.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 47, p. 683-693, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.044>

SILVA, F. F., RODRIGUES, L. A., MOREIRA, R. B., COELHO, A. B. Determinantes da emissão de CO₂ por uso de combustíveis fósseis para países sul-americanos, a partir da abordagem STIRPAT. **Revista de Economia**, v. 41, n. 1, 2015.
<http://dx.doi.org/10.5380/re.v41i1.40523>

STEFFEN, W., CRUTZEN, P.J., MCNEILL, J.R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment** 36(8), 2007. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2).

SWART, J., BRINKMANN, L. Economic complexity and the environment: Evidence from Brazil. In: **Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030**. Springer, Cham, p. 3-45, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30306-8_1.

THIRLWALL, A. P. The Balance of Payments Constraint as an Explanation of International Growth Rate Differences. **Banca Nazionale del Lavoro**, 1979. DOI: <https://doi.org/10.13133/2037-3643/12804>.

UDDIN, G. A.; ALAM, K.; GOW, G. Estimating the major contributors to environmental impacts in Australia. **International Journal of Ecological Economics and Statistics**, v. 37, n. 1, p. 1-14, 2016. ISSN 0973-1385.

UDDIN, G. A., ALAM, K., GOW, J. Ecological and economic growth interdependency in the Asian economies: An empirical analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 13, p. 13159-13172, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-04791-1.

WANG, J., DONG, K. What drives environmental degradation? Evidence from 14 Sub-Saharan African countries. **Science of the Total Environment**, v. 656, p. 165-173, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.354.

YILANCI, V., PATA, U. K. Investigating the EKC hypothesis for China: the role of economic complexity on ecological footprint. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-09434-4

YORK, R., ROSA, E.A., DIETZ, T. Footprints on the Earth: The Environmental Consequences of Modernity. *American Sociological Review*, 68, n.2, p.279-300, 2003a. <https://doi.org/10.2307/1519769>.

YORK, R., ROSA, E.A., DIETZ, T. STIRPAT, IPAT, and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. **Ecological Economics** 46, p. 351-365, 2003b. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5).

ENSAIO 3: Desempenho econômico e performance ambiental numa perspectiva econômico-ecológica: diagnóstico, narrativas e estratégias de desenvolvimento no Antropoceno

3.1 Introdução

Os dois primeiros ensaios desta tese demonstram o quão umbilicalmente interligados estão os temas do desempenho socioeconômico, da complexidade econômico-ecológica e da performance ambiental. A partir das abordagens teóricas e empíricas, observou-se que não há como discutir sobre estes tópicos de maneira isolada. O primeiro ensaio indicou que, do ponto de vista teórico, é necessária a articulação das perspectivas institucionalista, evolucionária e econômico-ecológica para um debate holístico sobre desenvolvimento econômico, considerando, inclusive, a ótica da complexidade da estrutura produtiva como elo fundamental para se entender as relações entre sociedade, economia e meio ambiente.

A análise empírica demonstrou que é essencial analisar o debate por diversos aspectos, da intensidade da degradação pela ótica da entrada e saída de matéria e energia do sistema, e por uma diversidade de variáveis que caracterizam os países do ponto de vista populacional, de afluência econômica e padrões tecnológicos. Por fim, a análise diferenciada entre países menos e mais complexos demonstrou que o nível de desenvolvimento dos países, o perfil institucional e de inserção no comércio internacional, além da entrada de investimentos estrangeiros diretos e de participação de combustíveis de fontes renováveis, são essenciais para entender o padrão de intensidade de degradação ambiental dos países.

O ritmo atual de *decoupling* parece não ser adequado para se alcançar um padrão de desenvolvimento sustentável, conforme dados da *Climate Transparency* (2020) e Olhoff e Christensen (2020). Destaca-se o fato de os países em desenvolvimento ainda precisarem recorrer a aumentos nas emissões de CO₂ para expandirem seus sistemas econômicas, num ambiente em que enfrentam os desafios de se desenvolverem e tornarem-se “mais limpos” ao mesmo tempo. Ademais, a manutenção da lógica de desenvolvimento econômico intensiva em matéria e energia em curso, em que o *decoupling* é um subproduto de melhorias tecnológicas e de transformação da estrutura produtiva dos países, guiada apenas pelos sinais de lucratividade

engendrado pelo mercado (ganho de competitividade das energias renováveis, por exemplo), é inviável.

O presente ensaio debruça-se sobre os seguintes questionamentos: o ritmo de *decoupling* vigente (amostra completa e subamostras) realmente está em desacordo com as demandas planetárias (por exemplo, as metas evidenciadas no Acordo de Paris)? Em sendo assim, as estratégias atuais de *decoupling* são insuficientes? Enfocar apenas no *decoupling* faz sentido a partir da perspectiva teórica adotada? Quais deveriam ser os principais eixos normativos e de política para uma estratégia de desenvolvimento econômico em um contexto de instabilidades sistêmicas, atributos principais da nova época geológica conhecida como “Antropoceno”²¹?

De modo geral, este ensaio parte da premissa de que se alcançar o desenvolvimento socioeconômico deve ser visto como alcançar "satisfação de necessidades" e "sensação de bem-estar", e que isto está – ou deveria estar – desacoplado da visão de riqueza material. Em sendo assim, o desenvolvimento econômico deve ser avaliado para além das métricas existentes, especialmente PIB per capita. Em um ambiente de emergência climática e restrições biofísicas crescentes ao crescimento econômico, é premente discutir estratégias de política pública diferenciadas para os países mais/menos complexos, mas todas dentro de um arcabouço único: um "*Green New Deal*" baseado em governança global para difusão de tecnologias verdes e das "*green complexification policies*". Enquanto os países mais complexos precisarão discutir estratégias de "*degrowth*" do ponto de vista material e energético, os menos complexos precisarão de estratégias para se inserirem nas cadeias globais de valor, em especial de produtos relacionados às energias renováveis e aqueles "mais amigáveis" ao meio ambiente, como estratégia para *acelerar a complexificação econômica sem passar pela mesma escala de degradação ambiental causada pelas estratégias de evolução econômica dos países ao longo do século XX e início do XXI*.

Os **objetivos** deste terceiro ensaio são: ofertar um diagnóstico sobre a relação *decoupling*, performance ambiental e desenvolvimento econômico, e uma visão normativa e propositiva de estratégias de desenvolvimento econômico no Antropoceno, por meio de uma ótica sistêmica, complexa, econômico-ecológica, evolucionária e pós-keynesiana²², chegando-

²¹ Sugere-se revisitar a introdução ao primeiro ensaio para uma definição do Antropoceno. A rigor, Antropoceno se refere a uma nova *época* de classificação do tempo geológico (Éon, Era, Período, Época). Todavia, ao longo de toda a tese e principalmente neste ensaio, a palavra Antropoceno pode vir precedida da palavra “era”, como um indicativo de um novo tempo marcado pela ação antrópica como protagonista principal das mudanças globais.

²² No primeiro ensaio a perspectiva pós-keynesiana não fora discutida. Neste ensaio, tal abordagem é incluída na análise com a justificativa de que em uma abordagem macroeconômica a aproximação pós-keynesiana e econômico-ecológica é bem-vinda por motivos que ficarão claro ao longo deste terceiro ensaio.

se ao esboço de estratégias de desenvolvimento econômico adequadas e possíveis para o cenário de mudanças climáticas hoje vivenciado. O foco central está nas estratégias para os países em desenvolvimento.

O ensaio está estruturado em três seções, para além desta introdução e das notas conclusivas. A primeira seção dá continuidade ao debate sobre *decoupling*, contextualizando, diagnosticando e comparando os desempenhos e trajetórias atuais com aquelas necessárias para a estabilização climática dentro do Acordo de Paris, para o caso das emissões de GEE, e no âmbito de consumo de material. Em seguida, apresentam-se narrativas teóricas que buscam tratar o debate sobre crescimento econômico, *decoupling* e limites biofísicos, buscando encontrar alternativas para os países mais e menos complexos se adequarem ao Antropoceno. Por fim, busca-se concatenar as ideias na busca de proposições de uma linha de políticas públicas no sentido da “**estratégia de complexificação verde**” para os países em desenvolvimento, na fronteira de uma agenda de pesquisa macroeconômica dentro da Economia Ecológica.

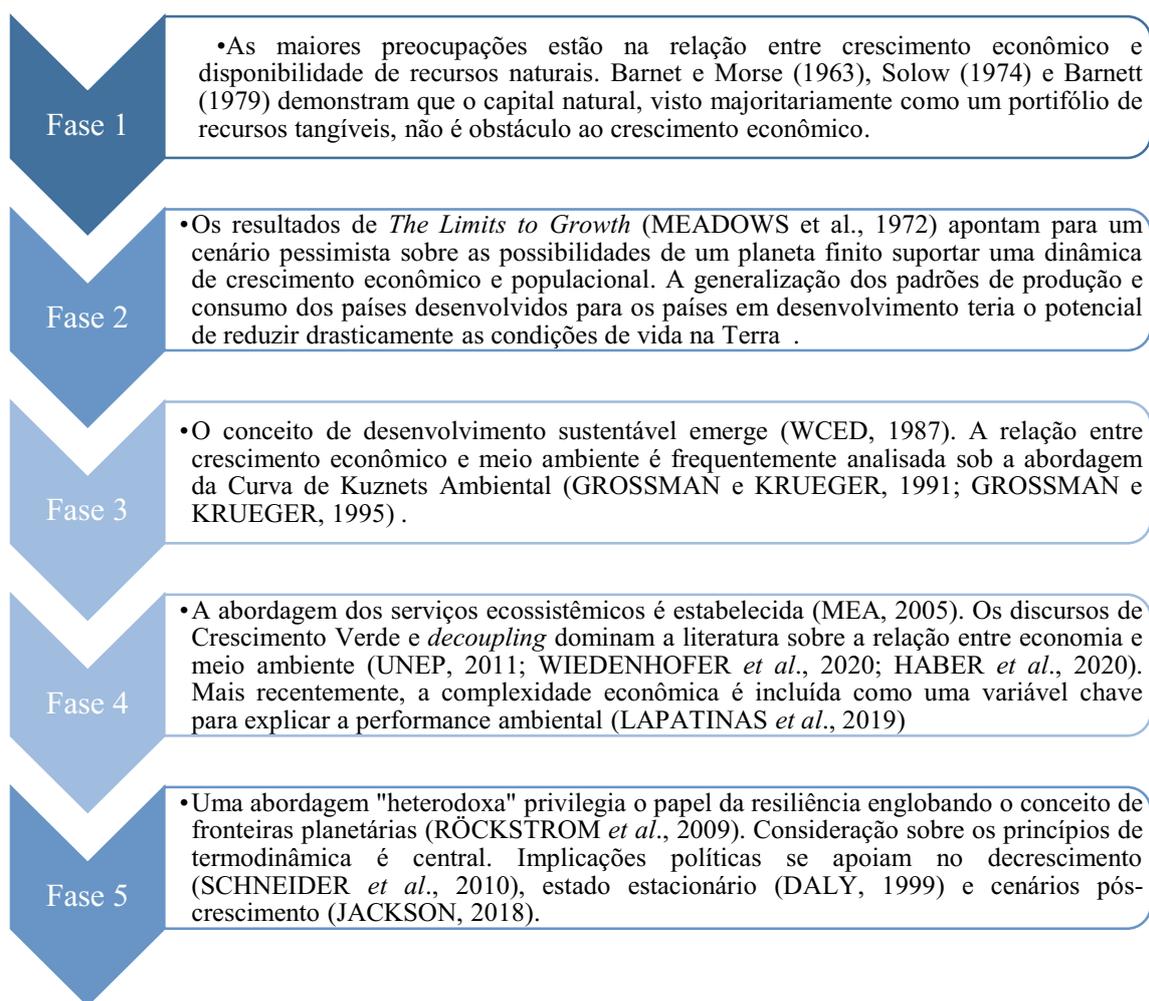
3.2 *Decoupling* e complexidade econômica: uma tendência inevitável?

Não são recentes os estudos sobre os nexos entre crescimento econômico e degradação ambiental. A partir de meados do século XX – provável início do Antropoceno (SYVITSKI *et al.*, 2020) – o debate acadêmico e político sobre esta relação pode ser visto como um processo de ao menos cinco fases (Figura 3.1). Inicialmente, as preocupações ambientais estavam centradas principalmente na questão da disponibilidade física de recursos. A conclusão geral era de que a exaustão dos recursos era meramente um evento e não uma catástrofe (SOLOW, 1974). Implicitamente, havia a hipótese de ampla possibilidade de substituição de capital natural por outros fatores de produção (capital, principalmente).

Visões mais pessimistas foram introduzidas a partir da publicação de *The Limits to Growth* (MEADOWS *et al.*, 1972), marcando a década de 1970 por uma crescente polarização entre os favoráveis pela continuidade (ou mesmo aceleração) do crescimento econômico e os defensores de uma redução no ritmo de expansão do sistema econômico como forma de se evitar um colapso ambiental. Como resultado de um esforço para superar esta polarização surge o conceito de **ecodesenvolvimento** durante a 1ª Conferência sobre Meio Ambiente em Estocolmo; um conceito normativo que estabelece as condições para um desenvolvimento

econômico socialmente mais inclusivo e ambientalmente mais amigável. A partir do relatório Brundtland em 1986 a expressão ecodesenvolvimento foi substituída por desenvolvimento sustentável e a questão ambiental é crescentemente institucionalizada na agenda de política dos diversos países.

Figura 3.1. Evolução do debate sobre crescimento econômico e meio ambiente



Fonte: Elaboração própria.

A partir da década de 1990, passa-se cada vez mais a se utilizar o arcabouço teórico e empírico da Curva Ambiental de Kuznets como referência para o estudo das relações entre crescimento econômico e meio ambiente. Segundo esta abordagem, há evidências de que a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico se divide em duas fases. Como já dito no primeiro ensaio desta tese, a primeira, em que as nações são pouco desenvolvidas,

caracteriza-se por uma população predominantemente residente no campo e elevada dependência do setor primário. A prioridade é a industrialização e inserção no comércio internacional, de modo a resolver os problemas de pobreza da população. Nesta fase de intenso crescimento econômico e aumento da degradação ambiental destaca-se o fator “escala”, considerando que quanto maior a escala de uma economia, uma maior quantidade de recursos é utilizada nos processos produtivos e, portanto, maior a emissão de resíduos.

Com o êxodo rural, maior nível de renda per capita e estrutura econômica mais industrializada, verifica-se uma tendência de aumento da participação no PIB do setor de serviços. Visto que a literatura costuma considerar o setor de serviços como menos intensivo em energia e matéria em relação ao primeiro e segundo setores, espera-se uma diminuição da degradação. Dessa forma, o efeito “composição” explica a trajetória de queda na degradação ambiental. Outro fator importante para explicar a fase descendente da curva é a “mudança tecnológica”. Aqui se pressupõe que a maior disponibilidade de recursos para o progresso tecnológico, com o avançar do desenvolvimento, possibilita o surgimento de novas tecnologias mais limpas a substituir as tecnologias obsoletas e mais intensivas em energia e matéria (GROSSMAN e KRUEGER 1991, 1995).

No início dos anos 2000, a ONU lança *The Millenium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), consolidando a ideia de que os serviços ecossistêmicos são a interface básica entre o capital natural e bem-estar humano (DAILY, 1997; COSTANZA, 2011; COSTANZA *et al.*, 2017). A partir do início da segunda década do século XX, tem-se a *Green Economy Initiative* (UNEP 2011a, 2011b) como forma de inserir o meio ambiente nas discussões sobre a recuperação da crise financeira de 2008, estimulando realocações de recursos para investimentos em setores verdes e descarbonização das economias. Especial ênfase é dada ao papel das eco-inovações no aumento da eficiência ecológica, colocando a ideia de ***decoupling*** como central no debate entre crescimento econômico e degradação ambiental. Mais recentemente, iniciam-se os estudos sobre as relações entre complexidade econômica e desempenho ambiental, conforme apresentado no segundo ensaio desta tese.

A teoria econômica respondeu em diferentes formas ao desafio de incorporação do meio ambiente no cenário analítico. De um lado, o *mainstream* econômico (economia neoclássica) permaneceu fiel ao paradigma do crescimento, adotando a hipótese ambiental “branda”. Do outro lado, abordagens heterodoxas – nominalmente, economia ecológica – questionam o papel do crescimento econômico nas sociedades modernas visto que adota uma hipótese ambiental “aprofundada” (DALY e FARLEY, 2004). Esta última perspectiva deu crescimento a novos

insights que priorizam estudos sobre resiliência e considerações sobre princípios termodinâmicos (GEORGESCU-ROEGEN, 1971; ROCKSTRÖM *et al.*, 2009).

A natureza e habilidade do crescimento econômico de entregar bem-estar humano são supremos para a formatação de políticas tanto para as ramificações ortodoxa quanto heterodoxa. Na tradição da economia ecológica, crescimento econômico perpétuo não é nem alcançável nem desejável, o que clama para uma mudança na organização social e econômica menos dependente de crescimento. A pandemia de COVID-19 pode ter um efeito ambíguo no discurso sobre crescimento econômico e meio ambiente: se pode nutrir estratégias alternativas para desenvolvimento econômico baseado em novos conceitos de crescimento econômico, ou pode aprofundar a dependência da sociedade ao crescimento.

De acordo com Wiedenhofer *et al.* (2020, p.3), “*as long as economic growth persists as a dominant political goal, decoupling economic growth from resource use and emissions is prerequisite for a sustainable net-zero carbon emissions future*”. Isto significa que *decoupling* permanecerá como prioridade principal para lidar com o “dilema do crescimento vs. meio ambiente”. A crise da mudança climática, a recuperação econômica em um mundo pós pandêmico, assim como outros problemas ambientais dolorosos (como a erosão da biodiversidade) estarão no centro da agenda política. É fundamental se entender até onde o *decoupling* é suficiente para alcançar as metas climáticas e de sustentabilidade (HABERL *et al.*, 2020). Em outras palavras, a questão relevante é o quanto a desmaterialização/descarbonização é necessária para se alcançar a sustentabilidade.

Em nível global, apesar dos avanços em relação à descarbonização, em 2019 a taxa de *decoupling* de impacto foi de 2,4%, metade do que aquela estabelecida no Acordo de Paris, de 3,3% a.a. Para alcançar o objetivo de limitar o aquecimento global em até 1,5 °C no ano de 2100 é necessária taxa anual de 11,7% (PwC, 2020). Fica claro, portanto, que a velocidade atual de redução na intensidade carbônica do sistema em nível global é insuficiente para limitar o aumento da temperatura na faixa de 1,5°C – 2°C. Por outro lado, Schroder e Storm (2018) apontam que limitar as emissões de modo a cumprir a meta de 2°C imporia, dadas as atuais tendências de desacoplamento, um crescimento da economia global de apenas 0,45% por ano nas próximas décadas, claramente abaixo das expectativas dos países, principalmente aqueles em desenvolvimento.

Para o Brasil, que se comprometeu a alcançar a meta de redução de emissão de GEE em 37% em relação ao nível de 2005 até 2025, com reduções futuras até 2030 (uma redução de 43% em relação ao nível de 2005), a taxa de descarbonização em 2019 foi de 1.4%. No período

2000-2019, a média da variação na intensidade carbônica foi de apenas 0.5% (PwC, 2020), bem abaixo da taxa necessária (11.7%). É importante notar que o Brasil é um caso especial visto que a grande maioria de suas emissões provém do setor de mudança do uso do solo, o que significa que alcançar a meta climática requererá uma política forte contra o desmatamento. Um estudo recente sobre o custo econômico do abatimento do desmatamento no Brasil mostra que a redução no PIB do Brasil seria de 0,62% no cenário mais efetivo²³ (LEITÃO e VASCONCELOS, 2017).

Para Hickel (2019a), a necessidade de “estar em harmonia com a natureza” e ao mesmo tempo garantir a continuidade do crescimento econômico para eliminação da pobreza em escala global, princípios presentes nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, parecem estar em contradição. O autor apresenta evidências empíricas de que um crescimento de 3% a.a no PIB global (objetivo 8) é incompatível com reduções agregadas no uso de recursos e reduções rápidas o suficiente nas emissões de gases de efeito de modo a não ultrapassar o orçamento de carbono equivalente à meta de 2°C.

Parece claro, portanto, que as atuais taxas de redução nas emissões de gases de efeito estufa são insuficientes para se atingir a meta de 1,5°C-2°C, requerendo um esforço muito maior dos países. Jacobson e Deluchi (2011) apontam que é teoricamente possível atingir tal meta caso haja uma total conversão em direção às fontes renováveis. Todavia, o problema passa a ser a velocidade com a qual este processo ocorre. Hickel (2019a) aponta que em um cenário de 3% de crescimento do PIB, a taxa de descarbonização precisa ser seis vezes maior que a atual. Por enquanto, não há evidência científica disponível que permita afirmar que haverá descarbonização a nível mundial em ritmo rápido o suficiente para evitar um “aquecimento descontrolado”.

O cenário se torna mais problemático quando se considera o *decoupling* de recurso. De um lado, como mencionado anteriormente, não há evidência de *decoupling* absoluto em escala global. De outro lado, os dados do ensaio 2 indicam que a velocidade de ocorrência é mais lenta *vis-à-vis* o *decoupling* de impacto. Aparentemente, não há consenso sobre o que seria a taxa máxima de consumo de recursos compatível com a resiliência dos ecossistemas. Dittrich *et al.* (2012), Hoekstra e Wiedmann (2014) e UN Environment Programme's International Resource Panel (2014) têm adotado o limite de 50 bilhões de toneladas por ano como uma fronteira planetária segura para a pegada material. Schimidt-Bleek (2008) sugere que a pegada

²³ Neste cenário, haveria uma redução no desmatamento de 13.7 milhões de hectares, o que equivale a uma queda acumulada no PIB de 0,62% entre 2016-2030 (R\$ 3,1 bilhões por ano).

ecológica per capita e consumo de recursos não renováveis não podem exceder 1,2 hectares e cinco a seis toneladas anualmente, respectivamente.

Não obstante a falta de metas específicas para o uso de recursos, a literatura acadêmica concorda que a redução da pegada material é necessária (HICKEL, 2019a). Bologna e Aquino (2020) apontam que a humanidade tem menos de 10% de chance de sobreviver baseado na taxa atual de uso de recursos. Finalmente, o consumo de recursos está relacionado não apenas à poluição, mas também à perda de biodiversidade, uma questão fundamental que é tão desafiante quanto a mudança climática. Um relatório recente do World Wildlife Fund (2020) mostrou um declínio médio de 68% na população de espécies desde 1970.

Hickel (2019a) afirma que, caso a meta de 50 bilhões de toneladas por ano seja adotada, a pegada material global deve se reduzir em 43% abaixo do nível de 2015, o que equivale a uma redução anual de 3,63%. Em um nível global, dados do *International Panel Resource* indicam que a variação anual média da extração doméstica por PIB (um indicador de intensidade material) foi de 0,6% por ano ao longo do período de 2000 a 2015, enquanto no Brasil este mesmo indicador foi de 1,5%.

Para ilustrar o quão distante os países se encontram em suas trajetórias de descarbonização da economia em relação às suas respectivas Contribuições Nacionalmente Determinadas (CNDs)²⁴ do Acordo de Paris, a Tabela 3.1 reúne os dados das 20 principais economias do mundo (G20). De acordo com estes dados, fornecidos pelo relatório anual da *Climate Transparency*, nenhum dos países listados se encontra na trajetória necessária para alcançar a redução de 1,5°C, existindo, portanto, “gaps” de ambição entre suas respectivas CNDs e a “participação justa”²⁵ de emissão de GEE. Ressalta-se que todos as projeções foram realizadas no cenário pré-COVID-19, e os países que apresentam “participação justa” negativa é que terão que retirar mais carbono da atmosfera do que emitir. Aqui, a análise de descarbonização diz respeito à medida de emissões per capita, diferentemente do trabalhado no restante desta tese, de intensidade carbônica (emissões em relação a unidade de PIB).

Segundo Olhoff e Christensen (2020), os cinco maiores emissores de gás carbônico do planeta (China, EUA, União Europeia e Reino Unido, Índia) totalizam 55% do total de emissões globais, os sete maiores (inclusão de Rússia e Japão) correspondem a 65%, enquanto que o total

²⁴ As CNDs constituem um documento em que cada país assume, voluntariamente, compromissos e contribuições para se alcançar as metas de limitação do aquecimento global do Acordo de Paris.

²⁵ A faixa de “participação justa” compatível com a limitação do aquecimento global a 1,5°C para 2030 e 2050 são obtidas pelo *Climate Action Tracker*, que compila um leque grande de perspectivas sobre o que é considerado justo, incluindo considerações como responsabilidade, capacidade e equidade (CLIMATE TRANSPARENCY REPORT, 2020).

representado pelo G20 é de 78%. A previsão é de que mesmo que todos os compromissos atuais sob o Acordo de Paris sejam implementados, tais CNDs são consistentes com a limitação do aquecimento global a mais de 3,2°C (intervalo de 3,0-3,5°C) ao final do século (com 66% de probabilidade), e sem a estabilização do processo de aquecimento global, em patamar maior do que o dobro da meta de 1,5°C estabelecida no supracitado acordo.

Tabela 3.1: Desempenho dos países do G20 quanto à descarbonização de suas economias vis-à-vis as metas do Acordo de Paris

País	Emissão de GEE per capita (tCO ₂ e/capita)	Tendência (período 2012-2017)	Emissões totais (MtCO ₂ e/ano)	“Participação-justa” para 2030 (MtCO ₂ e/ano)	“Participação-justa” para 2050 (MtCO ₂ e/ano)
África do Sul	8,85	-10,3%	533	Máx.. 348	Máx. 224
Alemanha	10,87	-5%	4.385,9	806	-3.989
Arábia Saudita	20,12	0	675	Máx. 389	Máx. 263
Argentina	8,4	-9% *	347,6	Máx. 207	Máx. 59
Austrália	21,78	-4,7%	558	Máx. 275	Máx. 34
Brasil	6,96	-1,1%	1.119	Máx. 411	Máx. 93
Canadá	19	-3,5%	722	Máx. 332	Max -156
China	8,37	-2,1%	12.951	Máx. 8.458	Máx. 5.462
Coreia do Sul	13,77	+3,5%	745	Máx. 217	Máx. -309
EUA	17,83	-6,9%	6.510	Máx. 1.836	Máx. -2.225
França	6,90	-4,6%	4.385,9	806	-3.989
Índia	2	+13,9%	2.980	Máx. 4.597	Máx. 3.389
Indonésia	5,76	+7,5%	889	Máx. 622	Máx. -51
Itália	6,78	-8,6%	4.385,9	806	-3.989
Japão	9,67	-7,5%	1.297	Máx. -153	Máx. -1.642
México	6,10	+4,1%	742	Máx. 442	Máx. 97,9
Reino Unido**	7,08	-22,8%	-	-	-
Rússia	11,01	+4,3%	2.155	Máx. 828	Máx. 248
Turquia	5,35	+5,6%	534	Máx. 364,7	Máx. 226,2
U.E + R.U	8,07	-5,7%	4.385,9	806	-3.989

Fonte: Adaptado dos relatórios do Climate Transparency Report 2020. (*) Dados para o período de 2011 a 2016; (**) Não há dados para o Reino Unido para as últimas 3 colunas, visto que precisarão submeter sua CND após a saída da União Europeia. De todo modo, o país tem como meta nacional a redução em 57% das emissões em relação ao nível de 1990. U.E = União Europeia e R.U. = Reino Unido.

A discussão até aqui tem apontado para o seguinte: (i) é relevante considerar ambos aspectos do *decoupling* (impacto e recursos); (ii) o *decoupling* relativo de impacto pode ocorrer mas não tão rápido quanto requerido para alcançar as metas climáticas; (iii) *decoupling* de recursos não está ocorrendo em nível global; (iv) a novidade nos estudos sobre a relação economia e meio ambiente é a inclusão da complexidade econômica como uma variável relevante para explicar o nexo entre *decoupling*, performance ambiental e desenvolvimento econômico. Em geral, conforme resultados do ensaio 2, países mais complexos têm sido bem-

sucedidos no *decoupling* de impacto, apesar disto não ocorrer no mesmo ritmo para o *decoupling* de recursos. Para os países menos complexos, há ligeira tendência de *decoupling* de recursos, mas intensificação nas variáveis de impacto.

Uma alternativa adequada e viável é que o investimento na complexificação das estruturas produtivas nos países em desenvolvimento pode ser um veículo para uma melhor performance ambiental. Este raciocínio, no entanto, pode ser problemático visto que retoma a lógica da Curva de Kuznets Ambiental. A literatura da economia ecológica tem tradicionalmente criticado esta abordagem porque leva a um otimismo em concordância com a economia neoclássica. Finalmente, a complexidade econômica desempenha um papel fundamental nas estratégias de desenvolvimento, além de ser uma condição necessária para o processo de salto qualitativo da estrutura econômica dos países mais pobres.

3.3 Narrativas teóricas para o desenvolvimento econômico no Antropoceno

Como visto na seção anterior, não é nem recomendável tampouco possível delegar ao processo de *decoupling* de recursos e de impacto a responsabilidade de promover a adequação do sistema econômico ao Antropoceno. Por outro lado, é possível identificar que algumas narrativas existentes sobre possíveis caminhos a se trilhar no âmbito do debate sobre desenvolvimento econômico e performance ambiental. Aqui serão abordados, de maneira especial, as seguintes vertentes: decrescimento (ou *degrowth*), pós-crescimento, crescimento verde e economia *donut*. Nesta discussão, será necessária a diferenciação de estratégias entre os países em desenvolvimento e os mais desenvolvidos. Por fim, será exposta uma perspectiva dentro do arcabouço econômico-ecológico.

A primeira vertente é a do *degrowth*, ou **decrescimento econômico**. Esta narrativa, considerada por Wiedmann *et al.* (2020) como uma abordagem radical, defende que o *decoupling* relativo não é suficiente e o absoluto não é possível, em longo prazo, com o modelo de desenvolvimento econômico viciado no crescimento econômico a partir da produção de maior quantidade de bens, baseados em um padrão de consumo cada vez mais intensivo em recursos naturais. Autores como Georgescu-Roegen, Herman Daly, Daniel O'Neill, Jason Hickel, Giorgos Kallis, e, nacionalmente, Ademar Romeiro, Ricardo Abramovay, dentre outros, defendem a necessidade de readequação do transumo da economia aos limites planetários, por meio da diminuição do volume de matéria e energia consumida pelo sistema econômico.

Ademais, o *degrowth* não é apenas um movimento acadêmico, mas também constituído por um conjunto de movimentos sociais e políticos (DEMARIA *et al.*, 2013).

O *degrowth* não é a defesa pela redução do PIB, apesar de se aceitar uma redução temporária nos países de maior afluência econômica. Para tanto, seria necessário desestimular os setores ligados às energias fósseis, retirando subsídios e direcionando-os para as energias renováveis, em especial solar e eólica, estimulando, ao invés do crescimento econômico, a redistribuição de renda intra e inter-nações, no sentido Norte-Sul. O processo de decrescimento econômico é, portanto, caracterizado pelo combate ao crescimento “deseconômico”, em que os custos sociais e ambientais ultrapassam os benefícios de satisfação de necessidades básicas e bem-estar social. Aqui está presente o entendimento do “Paradoxo de Easterlin” de que, a partir de determinado nível de afluência econômica, mais crescimento econômico não tem correspondência direta com o aumento da felicidade ou bem-estar social. Do lado social, o crescimento econômico não tem sido capaz de diminuir a desigualdade de renda intra e inter-nações (PIKETTY, 2013).

Por fim, há a busca pela mudança tanto dos processos produtivos em setores chaves e no aumento da ecoeficiência da economia, mas também a mudança do padrão de consumo, na direção de uma sociedade que se baseia mais na satisfação de necessidades básicas e demandas culturais e de conhecimento do que no *status* social a partir da posse de bens de consumo (LATOUCHE, 2009; GEORGESCU-ROEGEN, 2012; ABRAMOVAY, 2012; KALLYS, 2011; DALY, 2019; HICKEL, 2019a, b; HICKEL e KALLIS, 2020).

A vertente do *post-growth* é agnóstica em relação ao crescimento, no sentido de que não recrimina *a priori* a necessidade de crescimento econômico até os limites possíveis impostos pela biosfera. No entanto, este não é o objetivo central de política para alcance do bem-estar social. Procura-se, prioritariamente, realizar o *decoupling* do bem-estar social em relação ao crescimento econômico.

Esta é uma vertente reformista, que acredita na possibilidade de evolução dos governos, sociedade civil, instituições, e iniciativas individuais no sentido de reformar o sistema capitalista de modo que o foco está em alcançar o bem-estar social por novas métricas que não a riqueza material, reconhecendo os limites biofísicos (WIEDMANN *et al.*, 2020; EUROPEAN ENERGY AGENCY, 2020). Busca-se, portanto, alcançar a prosperidade sem que seja necessário o crescimento econômico, a partir do alcance de um nível de desenvolvimento econômico que pode ser mantido em estado-estacionário do ponto de vista do transumo

(VICTOR e ROSENBLUTH, 2007; DALY, 2014; JACKSON, 2009; VAN DEN BERGH, 2017; PARRIQUE *et al.*, 2019).

Esta vertente se aproxima do trabalho iniciado por Tim Jackson sobre prosperidade sem crescimento em um texto para discussão lançado em 2009, posteriormente republicado como livro (JACKSON, 2009). Ali, o autor reconhece as virtudes do crescimento econômico no atendimento de necessidades dos indivíduos, em especial nas fases iniciais do processo de desenvolvimento econômico, trazendo, portanto, prosperidade e bem-estar. No entanto, assim como dito no Paradoxo de Easterlin, o crescimento econômico gera ao longo do tempo retornos decrescentes à sensação de bem-estar, ao mesmo tempo em que acelera a degradação ambiental, tornando necessária a busca por novas métricas de medição da prosperidade humana para além da riqueza material.

Já o *green growth* é o mais proeminente dentro do *mainstream* econômico e do debate entre os tomadores de decisões no âmbito político e na iniciativa privada. Segundo esta narrativa, encampada pela OECD (2011) e UNEP (2011a), acredita-se no potencial e capacidade da ciência e progresso tecnológico (por exemplo, *ecodesign* e inovações verdes) como promotores da transição do para uma economia de baixo carbono por meio do processo de *decoupling*. Os defensores desta vertente também são conhecidos como *ecomodernists*. Conforme OECD (2011), “*green growth means fostering economic growth and development while ensuring that natural assets continue to provide the resources and environmental services on which our well-being relies*” (OECD, 2011).

Neste campo, reconhece-se a possibilidade de manutenção do padrão capitalista de crescimento econômico ilimitado associado à promoção de degradação ambiental em ritmo decrescente, em um processo contínuo de *decoupling* absoluto. O foco está na busca de soluções economicamente viáveis para alocação do capital privado, focando na ecoeficiência, energias renováveis e adaptação de políticas que diminuam as falhas de mercado, “internalizando” nos preços e, portanto, nos mercados, os custos ambientais por meio, por exemplo, de taxaço do carbono, sistemas de *cap-and-trade*, etc. Aqui, considera-se que o *decoupling* pode ser alcançado por meio do aumento da ecoeficiência sem que seja necessária a limitação da produção e do consumo em uma economia.

A narrativa *green growth* delega grande parte do seu sucesso a tecnologias de emissão negativa de carbono, como aquelas que prometem ser possível realizar reflorestamentos em larga escala (promovendo sequestro de carbono), com posterior uso da biomassa para geração

de energia e, neste processo, capturar a poluição emitida no processo de queima e estocar estes resíduos. Por exemplo, nas estimativas de descarbonização realizadas pelo IPCC, todos os cenários, exceto o *Low Energy Demand (LED)*, que será exposto no próximo subitem), levam em consideração o uso destas tecnologias de emissão negativa para se alcançar a meta de limitação do aquecimento global em 1,5°C até 2.100. Por fim, conforme a crítica realizada por Parrique *et al.* (2019), a validade do discurso do *green growth* se baseia na hipótese de um *decoupling* absoluto, permanente, global, rápido e grande o suficiente do crescimento econômico em relação a todas as principais pressões ambientais.

Por fim, a visão de Raworth (2019) da “**economia donut**” (Figura 3.2), que dialoga e vai no mesmo sentido do trabalho “*A safe operating for humanity*” (STEFFEN *et al.*, 2007), apresenta um espaço justo e seguro em que a institucionalidade deve dirigir a adequação do sistema econômico. O mercado, deixado à sua mercê e preso ao referido *lock-in* fóssil, não tem por que fazer esta transição autonomamente. É necessário um movimento político, social e empresarial conjunto para que esta transição seja realizada antes que os limites biofísicos sejam transgredidos de forma que sua resiliência seja quebrada, e que a “panarquia” busque novos pontos de equilíbrio dinâmicos empobrecidos em todos os estratos, seja de riqueza monetária, de biodiversidade, de recursos naturais, e cultural.

Na visão da “economia donut”, é necessário buscar a satisfação das necessidades básicas em uma economia em que o ser humano floresça suas capacidades, tenha opções de escolha, e se satisfaça num ambiente em que seu bem-estar não comprometa nem concorra com o dos demais. É necessário direcionar o sistema econômico num sentido de que valores como cooperação por meio de sistemas de conhecimento abertos, patentes públicas, sistema de ensino gratuito de alta qualidade, etc. gerem ganhos conjuntos para a sociedade. É possível, portanto, gerir o desenvolvimento socioeconômico dentro de um espaço em que as necessidades básicas tragam a dignidade humana sem comprometer os limites biofísicos. Este, portanto, é o “lugar justo e seguro para a humanidade”, que não compromete o bem-estar das sociedades futuras, e contribui para a regeneração dos ecossistemas.

Pensando na aplicação das narrativas acima expostas para o âmbito dos países menos complexos, em desenvolvimento, Abramovay (2012) traz para o debate um olhar da necessidade de crescimento econômico sob novas bases, “mais verdes”, em que o consumo massificado em busca de um padrão de elevada intensidade material e energética não pode ser considerado. Não é possível esperar o alcance de menor desigualdade de renda e diminuição da pobreza sendo o crescimento econômico a “bala de prata”.

Figura 3.2: A “economia donut”



Fonte: Raworth (2017).

Portanto, vai-se além da questão técnica da “economia verde”: é fundamental direcionar o crescimento econômico para setores que tragam a dignidade humana pela satisfação de necessidades básicas como serviços públicos de qualidade (universalização do saneamento básico, sistema de transportes ecoeficientes e de qualidade), políticas de inovação tecnológica direcionadas para as “tecnologias verdes”, combate aos subsídios de energias de fontes fósseis no sentido do fortalecimento de fontes renováveis, e combate à desigualdade social, em especial de distribuição de renda, por políticas pública como diminuição da carga semanal de trabalho para promoção de emprego, políticas de renda básica, etc. Para Abramovay (2012), em linha com Hickel (2019a), é impossível a promoção de uma transição para uma economia mais verde e menos intensiva em degradação sem se pensar no combate à desigualdade de renda, visto que, seja do ponto de vista intranacional ou na análise Norte-Sul, os impactos ambientais estão intimamente ligados com o padrão de consumo das classes mais elevadas.

Portanto, para os países em desenvolvimento, que precisam passar pelo processo de complexificação verde, a abordagem da **economia donut** parece ser a mais adequada, em que a proposta pode ser classificada como a adequação da Economia Verde a uma abordagem

econômico-ecológica, que vai além do necessário processo de *decoupling* e que utiliza o processo de crescimento econômico principalmente para atender as necessidades básicas da população, promovendo dignidade e diminuição da desigualdade social, principalmente, levando-se em consideração os limites biofísicos impostos pelas fronteiras planetárias. Por sua vez, a vertente ***green growth*** é a que mais se distancia das premissas econômico-ecológicas, uma vez que não reconhece explicitamente os limites de resiliência dos ecossistemas, recolocando a ideia de crescimento econômico contínuo como possível e desejável para todos os países.

3.4 Em busca da alternativa necessária e possível de desenvolvimento econômico no Antropoceno

A partir da revisão teórica e empírica realizada nas seções anteriores, nesta última seção busca-se delinear uma alternativa de estratégia de desenvolvimento econômico que parta de uma visão sistêmica, institucionalista, evolucionária, econômico-ecológica e pós-keynesiana adequada para os países em desenvolvimento na era do Antropoceno: a **estratégia de complexificação verde**. Inicia-se a discussão pelo reconhecimento da necessidade de se adequar o objetivo do desenvolvimento econômico para o contexto de emergência ambiental e contextualizando-se o cenário mais realista para a adaptação do sistema econômico às fronteiras planetárias (em especial, mudanças climáticas).

Feito isto, aborda-se o arcabouço teórico de políticas macroeconômicas necessárias para levar a cabo este processo de transformação, com referência ao que se convencionou chamar de Macroeconomia Pós-Keynesiana do Meio Ambiente. Em seguida, há um esforço de delineamento de um *framework* de políticas públicas e de programa de pesquisa e consequente desenho de políticas industriais verdes necessárias para a promoção do processo de complexificação da estrutura produtiva. Por fim, revisar-se-á alternativas de propostas de planos de ação de políticas públicas para colocar em prática o processo de complexificação verde.

3.4.1 A suficiência de necessidades humanas como objetivo central do desenvolvimento econômico

De acordo com Wiedmann *et al.* (2020), qualquer transição no sentido da sustentabilidade somente pode ser efetiva se alcançar mudanças relevantes no estilo de vida – leia-se, padrão de consumo – em complemento aos avanços tecnológicos que promovem o aumento da ecoeficiência. Nega-se, deste modo, a crença de que o aumento da eficiência no uso de matéria e energia é o suficiente para se alcançar o desenvolvimento sustentável. O consumo das famílias mais ricas ao redor do planeta é, de longe, o maior determinante e acelerador do aumento dos impactos ambientais e sociais globais. Observa-se que o *decoupling* absoluto não ocorre em experiências reais do ponto de vista da intensidade no consumo, ou seja, a intensidade de impacto relativo e local do consumo pode diminuir, mas os impactos absolutos aumentam no sentido de maior nível total de consumo (PARRIQUE *et al.*, 2019).

O pilar mais importante para a necessária transformação estrutural é se evitar ou reduzir o consumo até o patamar aceitável pelas fronteiras planetárias, ao mesmo tempo que atenda às necessidades humanas básicas. Conforme Wiedmann *et al.* (2020, p.7)

“The evidence is clear. Long-term and concurrent human and planetary wellbeing will not be achieved in the Anthropocene if affluent overconsumption continues, spurred by economic systems that exploit nature and humans. We find that, to a large extent, the affluent lifestyles of the world’s rich determine and national trade mechanisms allow the rich world to displace its impact to the global poor. Not only can a sufficient decoupling of environmental and detrimental social impacts from economic growth not be achieved by technological innovation alone, but also the profit-driven mechanism of prevailing economic systems prevents the necessary reduction of impacts and resource utilization per se.”

Daqui decorre a necessidade de se migrar da abordagem econômica baseada em maximizar o bem-estar social a partir do atendimento das necessidades ilimitadas com recursos escassos – visão *mainstream* – para a visão baseada no atendimento das necessidades humanas básicas, ou seja, de **suficiência**, no sentido do que se defende na “economia donut”, que combina o conceito de fronteiras planetárias com o de necessidades sociais básicas. Para habilitar a sociedade de dignidade e capacidades, com liberdade em relação a opções de escolhas quanto ao futuro, O’Neill *et al.* (2018) defendem a busca pela vida com qualidade a partir do *framework* de um espaço justo e seguro elaborado por Raworth (2019) na teoria das necessidades humanas. Esta teoria postula que existe um número finito de necessidades humanas básicas que são universais, saciáveis e não substituíveis. “Satisfação de necessidades” pode variar entre indivíduos e culturas, mas indiscutivelmente tem certas características universais que podem ser medidas empiricamente.

O'Neill *et al.* (2018) advogam que é possível alcançar a satisfação das necessidades básicas, provendo dignidade e capacidades aos cidadãos sem que haja o desrespeito às fronteiras planetárias. A questão, portanto, é a busca pelo conceito de suficiência ao invés da maximização, de modo que é possível melhorar a qualidade da vida sem, necessariamente, crescer a economia em tamanho. Para os autores, as necessidades físicas (que é nutrição, saneamento básico, acesso à energia e eliminação de pobreza abaixo da linha de US\$ 1,90) podem provavelmente ser providas para 7 bilhões de pessoas em um nível de uso de recursos que não transgrida de modo significativo as fronteiras planetárias. Para O'Neill (2018, p.92), *“if all people are to lead a good life within planet boundaries, then our results suggest that provisioning systems must be fundamentally restructured to enable basic needs to be met at a much lower level of resource level.”*

No entanto, se o objetivo for a busca em alcançar às demandas de satisfação de metas mais qualitativas (como satisfação com a vida, expectativa de vida saudável, educação secundária, qualidade democrática, suporte social e equidade) de forma universal, seria necessário aumentar a eficiência no uso dos recursos entre 2 e 6 vezes para respeitar as fronteiras planetárias (O'NEILL *et al.*, 2018). De todo modo, melhorias nas provisões sociais diminuem as desigualdades de renda e aumentam o suporte social, sendo, portanto, fundamental focar em investimentos públicos sociais na busca pelo desenvolvimento econômico.

Dada a impossibilidade da evolução da ecoeficiência prover o *decoupling* absoluto necessário para a adaptação do sistema econômico às fronteiras planetárias, Parrique *et al* (2019) argumentam que as políticas de aumento da eficiência precisam ser complementadas pela busca da suficiência, ou seja, a diminuição direta da escala da produção econômica em muitos setores (em especial, relacionados aos combustíveis fósseis e bens posicionais/supérfluos) e redução de consumo que, em conjunto, irão possibilitar vida digna e de qualidade respeitando-se maior igualdade social e as fronteiras.

3.4.2 A adoção de cenário mais realista para a limitação do aquecimento global

Outra questão premente é estabelecer um cenário realista em que o processo de desenvolvimento ocorrerá no Antropoceno, no que diz respeito à estratégia de limitar o aquecimento global a 1,5°C. De acordo com o IPCC, o cenário mais palpável é o *LED* (GRUBLER *et al.*, 2018). Neste cenário, o foco é na redução da demanda de uso final da

energia, em uma abordagem centrada nas pessoas ao invés das firmas, de modo a determinar um tamanho adequado para o sistema energético e, por consequência, propiciar melhores condições para lidar com os desafios das mudanças climáticas. Este é o único cenário que se mostra capaz de diminuir a demanda por energia a um nível consistente com a mitigação do clima a 1,5°C de aquecimento sem se esperar por tecnologias de emissão negativas, cuja viabilidade não é atualmente comprovada (ANDERSON e PETERS, 2016). Portanto, vai ao encontro de uma das fundamentais premissas da economia ecológica que é o Princípio da Precaução (HICKEL, 2019b).

Na perspectiva LED, demonstra-se que opções abundantes, disponíveis e adicionáveis de uso final de energia podem reduzir rapidamente e de forma pervasiva enquanto se melhora a qualidade de vida tanto no Norte quanto no Sul global. Há cinco propulsores de longo prazo principais das mudanças do uso final de energia, quais sejam: qualidade de vida (pressionada continuamente por maiores padrões de consumo), processo de urbanização, novos serviços de energia (que exigem cada vez maior qualidade e acessibilidade aos serviços energéticos), funções dos usuários finais (que também podem produzir energia) e inovações de informação (que suportam o processo de rápida difusão e digitalização) (GRUBLER *et al.*, 2018).

A interação destes fatores leva ao surgimento de cinco elementos adicionais à narrativa do cenário LED, quais sejam: (i) **atomização**, que é a proliferação de tecnologias de geração de pequena escala e baixo custo unitário; (ii) **provisão descentralizada dos serviços**, com geração, distribuição e uso final mais localizado, com adaptação à infraestrutura centralizada de forma inteligente; (iii) **valor de uso do serviços**, com distanciamento do valor à propriedade individual dos bens para uma noção mais compartilhada, flexível e multifuncional por meio de plataformas digitais e economias de compartilhamento; (iv) **digitalização da vida cotidiana**, integração das rotinas com o uso da Internet das Coisas; e (v) **transformação rápida**, com aceleração na forma de mudança e qualidade na oferta de serviços de energia demandada com o sucesso da estratégia.

Para se alcançar o cenário LED, a economia global precisará passar por profundo processo de desmaterialização, o que implica em um cenário de redução da produção e do consumo relativo à indústria, mas em proporções diferenciadas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. De acordo com Hickel (2019b, p.56) quanto à forma de aplicação da estratégia LED,

“the scenario works by reducing global energy consumption by 40% by 2050, which makes it much more feasible to

achieve a transition to 100% clean energy. The key feature of this scenario is that global material production and consumption declines significantly: 'The aggregate total material output decreases by close to 20 per cent from today, one-third due to dematerialization, and two-thirds due to improvements in material efficiency.' LED differentiates between the global North and South. Industrial production and consumption declines by 42% in the North and 12% in the South. Given improvements in energy efficiency, this translates into industrial energy demand declining by 57% in the North and 23% in the South. The LED model represents a "degrowth" scenario – a planned reduction of the material and energy throughput of the global economy. ”

Tendo em vista tamanha readequação do *throughput* econômico, faz-se necessário a busca por um instrumental de políticas macroeconômicas que internalizem o meio ambiente de forma adequada, com o entendimento da não-neutralidade do papel do Estado e seus gastos no que tange à sustentabilidade ambiental.

3.4.3 O arcabouço de políticas macroeconômicas necessário: a estruturação da Macroeconomia Pós-Keynesiana do Meio Ambiente

Conforme exposto ao longo desta tese, a transição para uma economia de baixo carbono nos moldes aqui defendida só será possível por meio de um papel ativo do Estado, em especial na execução de política fiscal ativa e coordenação dos atores envolvidos. Tendo em vista esta interface com a macroeconomia pós-keynesiana, Holt e Spash (2010), Jackson (2009) e Alvarenga e Young (2020, 2021) chamam atenção para a necessidade de esta escola de pensamento ser capaz de prover uma agenda positiva às questões ambientais, em especial à crise climática, incorporando os recursos naturais e a geração de poluição na função de produção. Trata-se aqui de uma necessária e desejável aproximação entre economistas ecológicos e pós-keynesianos para uma reflexão acerca de uma engrenagem macroeconômica capaz de ao mesmo tempo respeitar os limites ecossistêmicos e fornecer incentivos adequados para que os agentes econômicos operem dentro de tais limites.

Neste sentido, reconhece-se que as políticas macroeconômicas não são neutras do ponto de vista ambiental, visto que as decisões de gasto, que são cruciais do ponto de vista de que ditam a dinâmica econômica de produção e consumo, também afetam o meio ambiente, dado que demanda seus recursos como fatores de produção, juntamente ao capital produzido pelo homem e a força de trabalho. Aqui, há a participação efetiva do Estado na geração de Demanda Efetiva, coordenando investimentos, marcos regulatórios, aperfeiçoando a institucionalidade

envolvida e promovendo aquisições públicas e financiamento dirigido para a transição rumo a uma economia de baixo carbono, em setores específicos cuja produtividade é elevada, de maior dinamismo tecnológico, direcionados à mitigação e adaptação às mudanças climáticas (como indústria produtora de bens relacionados à geração de energia renovável), às incertezas relacionadas à troca de paradigma tecnológico (busca pelo fim do *lock-in* dos combustíveis fósseis) e de menor intensidade em material, energia e, por consequência, poluição.

Alvarenga e Young (2021) ainda destacam os conceitos de incerteza e irreversibilidade como caros tanto à Macroeconomia Pós-Keynesiana quanto à Economia Ecológica, e anunciam quatro princípios para a estruturação de uma Macroeconomia Pós-Keynesiana do Meio Ambiente: (i) Princípio da Demanda Efetiva ambientalmente estendido, (ii) Princípio da não-neutralidade ambiental, (iii) Princípio da não-convergência à sustentabilidade, e (iv) Princípio do crescimento estrangido. Em especial, destaca-se os últimos dois, em que se demonstra que o sistema econômico não converge por mecanismos endógenos para um equilíbrio de pleno emprego e para a sustentabilidade, mas que há a necessidade de atuação do Estado no sentido de buscar estes objetivos.

A depleção do capital natural compromete a trajetória de crescimento econômico, visto que este depende do estoque total de capital disponível na economia. Portanto, urge-se pela necessidade de, no caso dos recursos não-renováveis passíveis de reuso, de se investir na circularidade, e destaca-se o fato de que políticas de conservação, recuperação do estoque de capital natural e de remuneração de seus serviços ecossistêmicos são, ao mesmo tempo, políticas de crescimento econômico, por aumentar o capital total disponível na economia.

Pelo lado da economia ecológica, há um movimento também da busca pelo desenvolvimento de uma agenda de pesquisa de estudos macroeconômicos, como os liderados pelo GEMAECO (Grupo de Estudos em MacroEconomia Ecológica), cujas linhas de pesquisa são, dentre outras: “Estrutura teórico-analítica da MacroEconomia Ecológica”, “MacroEconomia Ecológica para países desenvolvidos”, “MacroEconomia Ecológica para países em desenvolvimento” e “Nova arquitetura financeira internacional”. De modo geral, os estudos reconhecem como importante o papel do Estado na liderança da transição rumo à uma economia de baixo carbono, a necessidade de políticas fiscais ativas que vão de encontro com o discurso liberal de austeridade fiscal, para que se possa promover setores econômicos estratégicos, seja por meio de coordenação de investimentos, financiamentos em condições favoráveis, pesquisa em instituições públicas, programas de aquisições governamentais, etc., sem os quais não se consegue dirimir as incertezas do processo de tomada de decisão no âmbito

das inovações tecnológicas relacionadas às questões ambientais. Neste ínterim, o desenvolvimento de instrumentos de política industrial focalizados nas tecnologias verdes se faz premente.

A referência a uma macroeconomia ecológica, que combine tanto princípios da economia ecológica e pós-keynesiana, se justifica na medida em que uma estratégia de desenvolvimento no Antropoceno deve estar ancorada em uma nova engrenagem macroeconômica sintonizada com a mudança de foco para as suficiências, tal como preconizado nas subseções anteriores.

3.4.4 Em busca da estratégia da complexificação verde: o papel das políticas industriais verdes na transição para economia de baixo carbono no Antropoceno

De maneira genérica, UNIDO (2012, p.148) define política industrial como “*the ways in which governments aim to achieve or fast-track structural change (...) to selectively promote certain industries or activities with the aim of encouraging a country to ‘defy’ its static comparative advantage and develop its ‘latent’ comparative advantage*”. Tais atividades governamentais tem o objetivo de promoção e/ou transformação da estrutura industrial de uma nação para melhorar suas condições competitivas em nível global (JOHNSON, 1984; SUZIGAN E VILLELA, 1997).

Quando é explícita e positiva, a política industrial parte da coordenação de medidas que podem atender a determinados setores de maneiras individualizadas (políticas verticais), de acordo com as estratégias definidas de longo prazo, promovendo o ganho tecnológico e de competitividade, por exemplo, por meio de financiamentos subsidiados, barreiras tarifárias à importação, programas de intercâmbio de tecnologia com outros países, promoção via desoneração tributária de investimentos em P&D, etc. No entanto, é essencial lembrar que o grau de sucesso e eficácia desta política se dá ao ser conjugada com as políticas macroeconômicas desempenhadas pelos governos (monetária, fiscal, financiamento, comércio exterior, cambial), que podem potencializar ou restringir, e até mesmo anular, os impactos da primeira.

Deste ponto de vista, é necessário que as políticas públicas visem à condução de instrumentos que promovam a formação de dinâmico e diversificado parque industrial, em especial nos setores mais intensivos em tecnologia, mesmo que isto vá de encontro com suas

dotações naturais e vantagens comparativas, que tenderiam a levar a economia a maior grau de especialização em atividades de menor valor agregado (CIMOLI *et al.*, 2009). Portanto, dá-se preferência às vantagens comparativas dinâmicas, que são construídas ao longo do tempo de maneira estratégica, e que mudam a estrutura de uma economia.

Este receituário faz parte do que Eber e Cassiolato (1997) chamam de “agenda neodesenvolvimentista”, que parte de uma visão histórica, evolucionista e neoshumpeteriana acerca do desenvolvimento tecnológico e industrial. Os autores destacam que o processo de desenvolvimento industrial deve ser guiado a partir de uma estratégia definida de longo prazo, pela ação ativa das políticas públicas, respeitando as trajetórias próprias das empresas, setores e países, ou seja, não há uma receita padrão para ser bem-sucedida nesta empreitada. Faz-se central, neste processo, a gestão sinérgica das políticas tecnológica, de fomento e de comércio exterior para se alcançar os objetivos propostos pela política industrial, portanto, uma política que vise a eficiência dinâmica (JOHNSON, 1984; CIMOLI *et al.*, 2007).

É essencial a gestão de políticas para impulsionar/acelerar a incorporação das tecnologias e buscar a inovação para aproximar o país da fronteira tecnológica de setores considerados estratégicos. Esta visão passa obrigatoriamente pela incorporação na análise dos conceitos de capacitação, rotina, aprendizagem e absorção de informação externa, busca e seleção como meios de se tornar uma firma, setor ou nação mais competitivo no cenário econômico global (COHEN & LEVINTHAL, 1989).

Erber e Cassiolato (1997) ainda destacam as agendas neoliberal radical, neoliberal reformista e socialdemocrata. Enquanto esta última se aproxima da neodesenvolvimentista, mas com maior ênfase à correção de problemas sociais via implantação de políticas de forte setorização e regionalização, a primeira vai no sentido contrário: a atuação estatal se faz necessária na preservação dos fundamentos macroeconômicos que propiciam o desenvolvimento industrial via organização do mercado, sendo interferências diretas presentes apenas para correção de graves “falhas de mercado”.

Por fim, a agenda neoliberal reformista reconhece a necessidade de atuação das políticas públicas devido a existência das “falhas de mercado”, mas com priorização de medidas horizontais e de diminuição do grau de intervenção ao longo do tempo. Para a discussão conduzida nesta tese, entende-se o arcabouço da **visão neodesenvolvimentista** mais adequado para a análise, pois se visualiza melhor pelos fatos históricos e contexto industrial atual, em que os novos regimes de comércio internacional (sob a batuta da Organização Mundial de Comércio

e blocos econômicos) e a proteção aos direitos de propriedade colocam ainda maiores obstáculos para a redução da distância de grau de desenvolvimento tecnológico dos países mais inovadores para aqueles que buscam alcançar este *status* (CIMOLI *et al.*, 2007).

De acordo com Baptista (2000), a política industrial deve-se preocupar com o *locus* em que ocorre a inovação, qual seja: a firma. Para que esta seja inovadora e se promova uma política tecnológica adequada, é necessário que sejam assegurados mecanismos de apropriabilidade do conhecimento e um ambiente com suficiente variedade técnica e comportamental para que elas possam competir umas com as outras. Duas importantes funções da política industrial são a **reconfiguração da estrutura produtiva e a redução de incerteza na mudança tecnológica**, pontos muito caros ao ambiente contemporâneo das mudanças climáticas.

No Antropoceno torna-se ainda mais necessária a gestão protagonista de instrumentos de política industrial que ditem os sinais mercadológicos para a migração do padrão tecnológico dominante (baseado no *lock-in* tecnológico dos combustíveis fósseis), em especial no que diz respeito à matriz energética dos países. Com um *industrial targeting* que vise à internalização de setores industriais e/ou de elos de suas cadeias produtivas, por exemplo, na indústria de produção de turbinas eólicas, placas fotovoltaicas, *smart grids*, e veículos elétricos, sinalizando condições diferenciadas de financiamento e de exploração de mercado que propiciem lucros econômicos e retirando subsídios perversos dados ao uso de combustíveis fósseis, torna-se mais tangível uma estratégia nacional de descarbonização da economia e geração de oportunidades de emprego e renda que potencializam o crescimento de longo prazo do país e o aproxima desta fronteira tecnológica (UNIDO, 2012).

Essa questão de mudança do padrão tecnológico é um processo evolucionário, que passa pela capacidade de as empresas absorverem tecnologias e gerarem mecanismos de coordenação, interdependência temporal, mudanças institucionais e de cumulatividade e não-linearidade. De acordo com Lustosa (2011, p.113):

“A mudança dos padrões tecnológicos atuais na direção de outros que degradem menos o meio ambiente é condição necessária para que o crescimento econômico possa ser contínuo. É nesse sentido que o crescimento econômico pode ser possível para todos os países, mas com tecnologias mais limpas e eficientes no uso dos recursos naturais. (...) A mudança do padrão tecnológico é extremamente complexa, pois ocorre no longo prazo, depende de muitas variáveis e, mesmo induzida por qualquer tipo de política, não se sabe *a priori* todas as consequências dela decorrentes, pois nem todas as externalidades negativas de uma tecnologia, desenhada e utilizada para fins específicos, podem ser previstas”.

Faz-se premente, portanto, o desenho e implantação de políticas econômicas ativas para adensamento da estrutura produtiva de maior sofisticação e que atuem nos setores ditos da “economia verde”, ou seja, que produzem mercadorias e serviços ligados às energias renováveis e “bens ambientalmente amigáveis”. Nesta linha, surge o conceito “**política industrial verde**”, que pode ser entendida como aquela que é idealizada para desencadear e facilitar mudanças estruturais exigidas para responder a condições ambientais e para desenvolver uma “economia verde e circular”. Seus instrumentos têm alvos setoriais na busca da geração de benefícios ambientais (COSBEY, 2013; VIÑUALES, 2017).

Para Rodrik (2014), a política industrial verde tem a finalidade de facilitar um “crescimento verde”, no sentido de que este requer “tecnologias verdes”, ou seja, aquelas técnicas de produção que economizam recursos não-renováveis e que sejam menos intensivas em carbono. A disponibilidade de tecnologias verdes age em dois sentidos: reduz os custos sociais na transição para uma trajetória de crescimento verde, e auxilia no alcance de satisfatória taxa de progresso material dentro desta trajetória. A autora busca, neste trabalho, encontrar nas práticas concretas de alguns países (EUA, Alemanha, China e Índia) formas de melhorar os instrumentos de política industrial pela arquitetura de *frameworks* institucionais que superem os riscos informacionais e políticos.

Os argumentos de política para isto incluem a falta de apropriabilidade de certos benefícios, falhas no mercado de capitais, processos de aprendizado, potencial para retornos de escala crescentes e de economias de aglomeração, e problemas de coordenação. Tais instrumentos são de suma importância para conduzir, no âmbito industrial e por consequência, energético, a transição para um modelo de crescimento econômico “descarbonizado”, ao mesmo tempo em que impulsiona a competitividade econômica do país por meio de incentivos adequados no sentido de aproximá-lo desta fronteira tecnológica estratégica, de modo que os investimentos nestas tecnologias verdes tenham asseguradas escalas apropriadas. Para Rodrik (2014, p.473), “*an explicit industrial policy that is carried out self-consciously and designed with pitfalls in mind is more likely to overcome the typical informational and political barriers than one that is implemented, as is so often the case, surreptitiously and under the radar screen*”.

Mealy e Teytelboym (2020) explicam como as capacidades de um país relevantes para a economia verde podem evoluir com o tempo. Os autores desenvolvem, seguindo a metodologia do *ECI*, o *Green Complexity Index (GCI)* e o *Green Complexity Product (GCP)*, a partir da escolha de um grupo específico de bens considerados da “economia verde”. Um país

que se encontra “perdendo posições” no *ranking* de *GCI* e *GCP* pode buscar fortalecer suas políticas que objetivam o aumento de capacidades “verdes”. Pacotes de estímulo governamentais para estes setores se mostraram eficientes no aumento de competitividade internacional (RODRIK, 2014). O *path dependence* de capacidades verdes demonstra um papel para a política industrial. Uma política industrial dita “verde” precisa levar em consideração as “capacidades verdes” e todos os objetivos e restrições de política domésticos.

Os desafios para os países em desenvolvimento são maiores ainda no que diz respeito à realização do “*catch-up*” tecnológico da “economia verde” e a tendência é de que os países que hoje se encontram melhor posicionados no ambiente competitivo de produtos de elevado valor agregado, em média, tenham maiores chances de dominar o mercado destes produtos verdes. Por fim, cabe destacar que China, EUA, Alemanha e Coréia do Sul estão no topo do *ranking* de países mais competitivos e com maior potencial para continuarem nos próximos anos neste nicho de mercado (MEALY & TEYTELBOYM, 2020). Importante salientar que apesar de o valor total dos volumes exportados dos “produtos verdes” continuar aumentando ao longo dos anos, a participação na pauta exportadora mundial não se alterou consideravelmente, mantendo-se no nível de 8% para os produtos verdes e de 2% para os produtos de energia renovável.

Quanto às estratégias para reorientação das estruturas produtivas dos países em prol de desfrutarem das possibilidades competitivas da “economia verde”, Mealy e Teytelboym (2020) lançaram mão da análise de proximidade produtiva, ou seja, de quais produtos seria possível, a partir da estrutura produtiva atual, de os países produzirem de forma competitiva em um futuro próximo. Pela *Green Adjacent Possible (GPA)* foi possível determinar a *Green Complexity Potential (GCP)*, ou seja, os potenciais de desenvolvimento das economias dentro desta subclassificação de produtos. Os autores geraram uma lista de produtos com elevado potencial de serem produzidos competitivamente por cada país dentro da amostra, deixando claro a importância do espaço ainda existente e essencial da política industrial dentro das políticas públicas. Seria possível, deste modo, com estímulos para setores específicos, aumentar a competitividade do país no comércio internacional, aprofundando a complexidade econômica nacional com seus efeitos de transbordamento para outros setores, dentro de uma estratégia de diversificação produtiva da economia. Esta seria o que, neste trabalho, denomina-se de “estratégia de complexificação verde”.

Foxon *et al.* (2013) afirmam que crescimento econômico baseado em setores “verdes” é tecnologicamente e economicamente viável, mas requererá intervenções políticas sustentadas, amplas e radicais na busca de uma revolução tecnológica e de estilo de vida. É necessário criar

instrumentos que consigam transpor o “*lock-in*” tecnológico baseado em combustíveis fósseis, produção altamente energética e de consumo de massas. Os autores defendem que um combustível diferente para o crescimento se faz necessário para que haja manutenção da estabilidade econômica dentro dos limites biofísicos restantes. Para isto, Foxon *et al.* (2013, p. 200) afirmam que

“Ecological investment would target renewable energy and the preservation of ecosystems and biodiversity, but would be likely to require lower rates of return over longer periods and changes to the ways in which productivity and profitability of investments are measured, to move away from a focus on GDP growth.”

No Antropoceno não é mais possível manter o estilo de produção utilizado ao longo dos séculos XIX e XX. Concertos multilaterais como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris demonstram reconhecimento da comunidade internacional quanto aos limites biofísicos do planeta e a consciência sobre os prejuízos imprevisíveis que as mudanças climáticas e a depleção dos ecossistemas trarão para a civilização. A mudança nas estruturas produtivas que legarão aos países em desenvolvimento condições de longo prazo para alcançarem o *catch-up* tecnológico e o nível de bem-estar dos países desenvolvidos perpassa, inevitavelmente, por estratégias de política industrial que estimulem a sofisticação produtiva na direção de produtos da “economia verde”.

O sistema econômico, como defendem Capra e Jackobsen (2017), precisa se harmonizar ao meio que o detém, de modo que ao invés de predá-lo, busque formas de recuperá-lo, com vistas à sua sustentabilidade no longo prazo. É essencial, conforme Vatn (2020), que a institucionalidade política e empresarial evolua, se adapte ao novo contexto, com políticas de Estado com ampla participação popular, e que os cálculos de retorno dos investimentos sejam alongados e que a rentabilidade incorpore ao cálculo as vantagens competitivas de longo prazo do fortalecimento da complexificação verde, da responsabilidade ambiental, de reconhecimento dos valores dos serviços ecossistêmicos na precificação de bens e serviços e de quão importantes são para a viabilidade, rentabilidade e sustentabilidade dos negócios. Os fundos ESG (*Environmental, Social and Governance*) conformam um volume cada vez mais significativo de recursos do sistema financeiro mundial disponível para as empresas que apresentam as melhores práticas corporativas no que diz respeito à sustentabilidade socioambiental, *accountability* e transparência da gestão.

Para uma economia se desenvolver, há que se criar postos de trabalho e investimentos, mas estes não ocorrerão mais nos moldes do “*empty world*” do século XX, mas precisam ser

reconstruídos, ressignificados, pois uma mudança global, no sentido da adaptação do mundo às mudanças climáticas, à transição demográfica, erradicação da miséria e oferta de serviços básicos universalizada só será possível em um ambiente que supere a estrutura de produção e consumo de massas, de logística de transporte urbano individualizado e de matriz energética baseada em combustíveis fósseis.

O modelo capitalista precisa gerar novos sinais de rentabilidade, em um processo dirigido em todas as esferas de poder (multilateral, nacional, regional e local; empresarial, nos setores público e privado), em que a busca pelo lucro econômico caminhe no sentido de serviços e mercadorias que possibilitem o “*decoupling*” da economia não só no sentido das emissões de poluentes, mas também material, numa economia mais circular, regenerativa, “segura e justa”, que faça a sociedade florescer e prosperar promovendo a vida como protagonista dos relacionamentos entre os sistemas econômicos, sociais e a biosfera (RAWORTH, 2019). Como visto, esta é uma condição necessária, mas insuficiente para o alcance de uma transição de estrutura produtiva em um cenário de aquecimento global restrito à 1,5°C até 2100.

É necessário pensar em um novo modelo de desenvolvimento econômico baseado na estratégia de complexificação verde, com o desenvolvimento de políticas públicas, por exemplo, por meio de “políticas industriais verdes”. Este deve ser o “atalho” possível para os países em desenvolvimento levarem suas sociedades à satisfação de necessidades básicas e à prosperidade dentro dos limites biofísicos. Neste cenário, estes países conseguiriam aumentar a qualidade de vida de suas populações, com a satisfação de necessidades básicas, fornecimento de serviços públicos universalizados como educação básica e secundária, saúde, saneamento básico e segurança alimentar, sem demandar o mesmo crescimento do *throughput* de matéria e energia que foi requerido ao longo do século XX para que as nações hoje consideradas desenvolvidas alcançassem este *catch-up* tecnológico e de bem-estar social.

Este modelo de desenvolvimento deve partir do reconhecimento e estabelecimento dos limites biofísicos oferecidos pelos ecossistemas, valorando os serviços ecossistêmicos, reconhecendo e recompensando pelos serviços ambientais, cujos sinais de lucratividade apontem para alternativas de investimentos que tragam ganhos de produtividade econômica, ecológica, mas também leve ao alcance de objetivos sociais (RAWORTH, 2019). O Estado deve agir na regulação das atividades econômicas e limitar o uso dos recursos naturais a níveis compatíveis com a preservação e regeneração dos ecossistemas. Os investimentos em capital natural é fomento para o crescimento da prosperidade humana.

A partir da delimitação do espaço da economia no meio biofísico, as políticas públicas devem apontar seus instrumentos para a inserção dos países nas cadeias globais de valor da “economia da mudança climática”, ou seja, dos setores necessários para a transição para uma economia de baixo carbono e desmaterializada. Setores como o de geração de energia por fontes renováveis e de bens “amigáveis” ao meio ambiente apresentam produtos com elevado grau de complexidade econômica (MEALY & TEYTELBOYM, 2020), e é estratégico apresentar competitividade em elos destas cadeias. O *Big Push Verde* defendido pela CEPAL visa uma estratégia de complexificação verde que supere, inclusive, as vulnerabilidades externas, restrições ao balanço de pagamento, diminuição do *gap* tecnológico entre Centro-Periferia e fortalecimento de políticas de redução da pobreza e desigualdades sociais (GRAMKOW, 2019).

Alternativas de instrumentos de política econômica, por exemplo, na transição energética, com financiamentos de longíssimo prazo, acordos internacionais para instalação de empresas multinacionais com compromisso de transferência de tecnologia, constituição de laboratórios com parcerias entre universidades públicas e setor privado para desenvolvimento de inovações nestas áreas, programas de compras públicas para engendrar competitividade (escala de produção para diminuir os custos de produção), etc. Melhorias na institucionalidade econômica e no ambiente de negócios para promoção da economia circular, de desincentivo à descartabilidade (políticas de maior durabilidade dos materiais), etc. são fundamentais para lograr êxito nesta estratégia.

O *Big Push Verde*, o *Green New Deal* Europeu e dos EUA, e o plano “*A sustainable recovery plan for the energy sector*”, da *International Energy Agency* em conjunto com o Fundo Monetário Internacional, são alternativas de plataformas de políticas públicas sugeridas para a transição no sentido de uma economia de baixo carbono, em superação às crises climática, econômica e da COVID-19. Todas preveem o protagonismo do Estado na coordenação de atividades e no uso das políticas de financiamento e fiscal para fortalecimento de sistemas de inovação de tecnologia verde, que aumentem a eficiência econômica no uso dos recursos naturais e que promovam a transição energética do paradigma das fontes fósseis para fontes renováveis, em especial a eólica e a solar (vide Quadro 3.1). Ademais, buscam a estruturação e exploração da competitividade destes setores na economia internacional, de modo a internalizar a produção em elos de valor agregado elevado das cadeias globais de valor destes setores da “economia da mudança climática”, provendo redução dos riscos e demanda de elevada escala para acelerarem o desenvolvimento e viabilidade econômica das tecnologias verdes nascentes.

Quadro 3.1: Tecnologias de baixo carbono

Tecnologias	Descrição
Eficiência energética	Tecnologias que usam menos energia de combustíveis fósseis para produção dos mesmos produtos, incluindo otimização da combustão, sistemas de recuperação de calor, sistemas de recuperação de vapor, sistemas de recuperação de calor de fornalha, e novos processos industriais
Reciclagem e economia de materiais	Tecnologias que substituem matérias-primas virgens por recicladas e melhoram o processo de produção pela redução de perdas e/ou uso de menos insumos.
Gás natural	Tecnologias que permitem a substituição de combustíveis mais poluentes por gás natural, que é menos intensivo em carbono.
Renováveis (biomassa e solar)	Tecnologias que substituem combustíveis fósseis por dois tipos de energia renovável: biomassa (lenha e carvão vegetal) e solar-termal (ou seja, sistemas de aquecimento de água complementar).
Lenha e carvão vegetal sustentáveis	Esta tecnologia envolve a eliminação progressiva de lenha e carvão vegetal não renováveis (ou seja, de madeira extraída de florestas nativas) e deslocando-a com lenha e carvão vegetal sustentáveis (ou seja, madeira obtida de florestas plantadas).
Cogeração	Produção combinada de energia térmica e elétrica nas mesmas tecnologias de sistema (ou seja, calor e energia combinados). Isso inclui equipamentos mecânicos alimentados por calor, cujo calor residual é usado para produzir eletricidade (ou seja, calor como a saída principal e eletricidade como subproduto).

Fonte: Gramkow *et. al* (2019), com base no Banco Mundial (2010).

Neste sentido, Busch et al. (2018) defendem uma estratégia industrial de baixo carbono, que consiste de duas partes: primeiro, é necessária a especificação dos objetivos estratégicos tanto em relação à emissão de carbono e o interesse público mais geral, por exemplo, pela oferta de oportunidades de bons empregos ou melhora do bem-estar social, além de também indicar os tipos de atividades econômicas com potencial de alavancagem destes objetivos. Segundo, esta estratégia precisa dispor um *framework* que defina como o problema precisa ser perseguido, quais soluções precisam ser buscadas, e como estas necessidades precisam ser governadas. Faz-se necessário, portanto, integrar a descarbonização aos objetivos econômicos das empresas e dos governos.

De acordo com Busch et al. (2018), os objetivos estratégicos são: (i) promoção das inovações em tecnologias, modelos de negócios e práticas de baixo carbono; (ii) ação na gestão da demanda e oferta de energia; e (iii) possibilitar a flexibilidade para mudança sistêmica. Dentro destes objetivos, identificam-se cinco elementos para uma estratégia industrial de baixo carbono que descreve como intervenções políticas precisam ser conceituadas e justificadas.

Estes elementos são derivados de uma síntese das teorias neo-Schumpeteriana e econômico-ecológica de evolução industrial. Portanto, representam o *framework* para tal estratégia. Os cinco elementos são (BUSCH *et. al*, 2018, p.5):

- (1) Definição e permissão de uma missão industrial de baixo carbono;
- (2) Criação de mercados com *demand-pull*;
- (3) Modelação de mercados pela identificação de oportunidades e premiação do sucesso;
- (4) Estímulo ao investimento;
- (5) Incorporação de abordagens de aprendizado em sistemas de governança.

Independentemente dos países e regiões, as políticas industriais verdes precisam promover a economia de matéria-prima e energia, aumentando-se, portanto, a eficiência no consumo destas ao longo do processo produtivo, além de estratégias para promoção do reuso e reciclagem de água, resíduos, rejeitos e potencial energético perdido ao longo dos processos. É fundamental o apoio a políticas públicas de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que visem estes objetivos, além de programas governamentais de compra que alavanquem a escala de produção das empresas que usem estas inovações. Para Magacho (2021, p.53),

“é possível identificar dois caminhos para consolidação de uma economia competitiva sustentável: (i) fomentar a realocação de recursos humanos e naturais de setores com baixa produtividade para setores intensivos em conhecimento, mais produtivos na utilização de recursos e com menores impactos ambientais; e (ii) aumentar a eficiência no uso de recursos naturais e promover a redução da produção de resíduos e poluentes em setores que a região é mais competitiva. Na medida em que esses caminhos são trilhados conjuntamente, é possível promover o desenvolvimento socioeconômico e utilizar as competências locais para o crescimento da economia do país ou da região sem que essa expansão gere problemas ambientais locais ou globais.”

Ademais, a mudança da matriz energética se faz fundamental, seja quanto à geração de energia elétrica, seja nos combustíveis para transportes e demanda industrial. A promoção de leilões de longo prazo de aquisição de energia das fontes alternativas, como eólica e fotovoltaica são fundamentais para diminuição dos riscos nos cenários de investimentos nestes setores. O apoio à consolidação de importantes elos da cadeia produtiva do setor de energias renováveis se constitui uma oportunidade para a aplicação de políticas de financiamento de longo prazo com condições de crédito mais atrativas do que as fontes fósseis.

Por fim, a geração de empregos de maior qualidade, com redução de jornadas de trabalho, além de fomentar atividades voltadas para a recuperação de paisagens,

reflorestamento, saneamento básico, saúde e educação públicos, são fundamentais para a transição para uma economia mais descarbonizada. No entanto, para se realocar recursos humanos no sentido de setores mais intensivos em tecnologia e conhecimento, é necessário que este estoque de recursos seja capacitado para isto. Portanto, é fundamental se qualificar a mão-de-obra, com níveis elevados de escolaridade e conhecimento técnico, o que confere maior flexibilidade de alocação dos trabalhadores a setores mais sofisticados do ponto de vista tecnológico e mais amigáveis ao meio ambiente (EICHER, 1996).

Por fim, Magacho (2021) desta ainda a necessidade de disposição de uma infraestrutura física de base que seja competitiva e atraia os investimentos nestes setores de baixo carbono. Tal infraestrutura deve oferecer uma logística eficiente para transporte de cargas e de passageiros, redes de comunicação de alta velocidade, fornecimento de energia estável e a custo competitivo. A conformação de parques tecnológicos, compostos por institutos de pesquisa, universidades, laboratórios, *start-ups* e empresas inovadoras são fundamentais na aceleração da atratividade de instalação de novos investimentos.

Como exemplo, Simões e Andrade (2019) resenham sobre estratégias de políticas industriais para transição energética nos BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China). Os autores demonstram a estrutura energética e intensidade carbônica de cada economia, e a evolução das medidas de política industrial em cada país, de acordo com suas metas nas respectivas CNDs. A Índia tem o maior destaque positivo de coerência com o limite de aquecimento de até 2°C, enquanto o Brasil fica numa posição limítrofe. Já China e principalmente a Rússia, em especial devido à matriz energética já existente altamente dependente de carvão mineral, óleo e gás, não tem feito esforços suficientes no sentido de alcançar as metas do Acordo de Paris. No caso brasileiro, em 2002, surgiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), reconhecido como um instrumento inovador de promoção à competitividade das energias alternativas, especialmente a eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas, por meio de subsídios e incentivos. O programa combina uma tarifa de alimentação obrigatória, requerimentos de conteúdo nacional nos componentes, contratos de longo prazo para produtores de energia, e leilões para permissão de oferta de eletricidade na rede nacional, e crédito subsidiado do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O programa atraiu de forma satisfatória a iniciativa privada e a instalação de indústrias de componentes operando no Brasil a partir de IED. Este programa foi bem-sucedido ao ponto de, em 2021, às fontes de energia solar e eólica conseguirem concorrer nos leilões de aquisição de

energia sem os subsídios antes necessários, pelo ganho de escala, de produtividade e de conhecimento adquiridos.

Ainda no caso brasileiro, Gramkow *et al.* (2019) analisam o setor manufatureiro como gerador de oportunidades para transição para uma economia de baixo carbono, com aumento do potencial de aceleração do crescimento econômico concomitante a redução de emissões de dióxido de carbono. Segundo os autores,

“Our findings highlight that the correct mix of green stimulus can help modernize and decarbonize the Brazilian manufacturing sectors and allow the country’s economy to grow faster (by up to 0.42% compared to baseline) while its carbon dioxide (CO₂) emissions decline (by up to 14.5% in relation to baseline). Investment levels increase, thereby strengthening exports’ competitiveness and alleviating external constraints to long-term economic growth in net terms.”

Fica evidente que a transição para uma economia de baixo carbono nesta perspectiva econômico-ecológica, sistêmica, institucionalista, evolucionária e pós-keynesiana não será espontânea e certamente requererá políticas além da esfera de oferta. É essencial focar estratégias de política *supply-side* e *demand-side*, como maior conscientização da população em relação ao consumo, penalização da “descartabilidade”, valorização da qualidade do meio ambiente por meio da educação ambiental, etc.

Neste âmbito, é impossível analisar suficiência de satisfação de necessidades e prosperidade humana a partir apenas da ótica *mainstream*, ou seja, por indicadores de renda (PIBpc, índice de Gini) e desenvolvimento humano (IDH). É necessário buscar um *dashboard* de indicadores que consigam abranger de forma mais completa possível a complexidade da relação economia, sociedade e ecossistemas, com destaque para as restrições biofísicas ao crescimento econômico, nos moldes de Raworth (2019) e O’Neill *et al.* (2018).

O planeta na Era do Antropoceno é o *full world*, em que o capital natural, provedor fundamental de bens e serviços que levam à satisfação das necessidades humanas, se torna cada vez mais escasso frente ao produzido pelo homem (ANDRADE e ROMEIRO, 2011; ANDRADE *et al.*, 2012). Não há outro caminho viável para a humanidade que não seja a valorização do capital natural e seus serviços, e a promoção de um estilo de desenvolvimento econômico que busque a prosperidade como suficiência, dignidade, e liberdade de escolha, e em que a transição para uma economia de baixo carbono se realize pela estratégia de complexificação verde.

3.5 Notas conclusivas

Este ensaio lança luz sobre o debate acerca da “economia viciada em crescimento” enfocando nos conceitos de complexidade econômica e *decoupling*. Observa-se que as forças de mercado não podem, espontaneamente, produzirem elevados níveis de complexidade econômica e um padrão robusto e suficiente de *decoupling*. A necessidade de desenvolvimento e difusão de novas tecnologias ecoeficientes requererão políticas públicas mais agressivas e articuladas do que as implementadas atualmente. A discussão levada a cabo sugere que as políticas públicas precisam levar em conta três elementos principais: (i) a aceleração na introdução de novas e muito mais ecoeficientes tecnologias para aumentar o *decoupling* de impacto; (ii) a concessão aos países em desenvolvimento de acesso a estas tecnologias por meio de governança global e de mecanismos de ajuda internacional redesenhados pode acelerar o fechamento do “*gap*” de complexidade entre os países; e (iii) um novo padrão de consumo é fundamental para avanços no sentido do *decoupling* de recursos.

Observou-se a necessidade de buscar as narrativas teóricas alternativas que debatem a relação entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental (*degrowth*, *pos-growth*, *green growth* e *economia donut*), e que a tese da busca pelo desenvolvimento econômico condutor da sociedade para um “espaço justo e seguro” em relação às demandas sociais e aos limites planetários se faz mais adequada para os países menos complexos. Após isto, defendeu-se a necessidade de mudança do objetivo de desenvolvimento econômico para a busca pela satisfação das necessidades humanas básicas como sinal de prosperidade econômica, ao invés da maximização do crescimento econômico. Contextualizou-se, em seguida, o cenário mais seguro a se considerar para limitar o aquecimento global a 1,5°C até 2100, que é o *Low Energy Demand*, que requer uma transformação rápida e brusca do transumo do sistema econômico por meio, principalmente, da redução da demanda final de energia e da “limpeza” de suas fontes.

A partir disto, estruturou-se o arcabouço de políticas macroeconômicas necessárias para a busca da implantação da transição para uma economia de baixo carbono. Aqui, destaca-se o papel fundamental do Estado como planejador, coordenador e executor de políticas de financiamento e gastos públicos necessários para a estratégia de complexificação verde.

Destacou-se o papel das políticas industriais verdes para o alcance desta estratégia, no campo microeconômico, sendo que um conjunto de políticas públicas – sumarizadas como uma

“estratégia de complexificação verde” – precisa considerar ambos lados da oferta e da demanda da economia. Políticas no sentido da conversão de combustíveis fósseis para energia renovável, incremento de eficiência ecológica, e complexificação das estruturas produtivas (políticas orientadas pelo lado da oferta) precisam ser complementadas por incentivos a uma mudança no padrão de consumo, incluindo preocupações sobre maior durabilidade de bens, barreiras a “descartabilidade fácil” e de formação de maior consciência ecológica (políticas orientadas pelo lado da demanda). É crucial lutar contra as desigualdades de renda visto que pode fortalecer os valores compartilhados de sustentabilidade dentro das sociedades.

Garantir o acesso dos países em desenvolvimento a tecnologias na fronteira tecnológica representa uma oportunidade para remodelar políticas de ajuda externa comprovadamente ineficazes. Uma política de ajuda externa baseada na transferência de tecnologia é mais efetiva do que aquelas baseadas nas transferências financeiras, além de serem menos suscetíveis a corrupção. O redesenho da governança global em um mundo pós-pandêmico requererá um entendimento comum da urgência para encarar a degradação ambiental. **Para as nações em desenvolvimento, isto significa perseguir o crescimento econômico sem caírem no consumismo. Já para as nações desenvolvidas, é necessário o abandono ao consumismo.**

Neste sentido, alcançar um nível de qualidade de vida aceitável para toda a humanidade irá, indubitavelmente, requerer uma redefinição de “prosperidade”. Como os economistas ecológicos tem argumentado por mais de três décadas, crescimento do *decoupling* dos recursos naturais é uma condição necessária, mas não suficiente. Não pode ser uma solução *deus ex-machina* para um futuro sustentável e próspero visto a existência de limites termodinâmicos a melhorias na ecoeficiência.

3.6 Referências Bibliográficas

ABRAMOVAY, R. **Muito além da economia verde**. São Paulo: Editora Abril, 2012.

ALVARENGA JR., M e YOUNG, C. E. F. **Princípios para a construção de uma macroeconomia pós-keynesiana do meio ambiente: revisitando Keynes em tempos de crises**. In: **Dossiê especial AKB ECOECO - o desafio contemporâneo: construindo novas**

narrativas para a economia do meio ambiente e do clima. Associação Keynesiana Brasileira & Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2021.

ALVARENGA JR., M. & YOUNG, C.E.F. “O pulo do gato: esverdear a economia para sair da crise”. In: YOUNG, C. E. F.; MATHIAS, J. F. C. M. **Covid-19, meio ambiente e políticas públicas.** São Paulo: Hucitec, p. 184-190, 2020.

ANDERSON, K., PETERS, G. The trouble with negative emissions. **Science**, v. 354, n. 6309, p. 182-183, 2016. DOI: 10.1126/science.aah4567.

ANDRADE, D. C., ROMEIRO, A. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “economia dos ecossistemas”. **Economia**, 2011.

ANDRADE, D. C., ROMEIRO, A. R., SIMÕES, M. S. From an empty to a full world: a nova natureza da escassez e suas implicações. **Economia e Sociedade**, v. 21, p. 695-722, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-06182012000300009>.

BAPTISTA, M.A.C. Política Industrial - uma interpretação heterodoxa. Campinas, IE/UNICAMP (Tese de Doutorado), 2020. ISBN: 8586215317.

BARNETT, H.; MORSE, C. **Scarcity and growth:** the economics of natural resource availability. Baltimore: Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, 1963. <https://doi.org/10.4324/9781315064185>

BARNETT, H. Scarcity and growth revisited. In: Smith, V. K. **Scarcity and growth reconsidered.** Baltimore: Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, 1979.

BOLOGNA, M., AQUINO, G. Deforestation and world population sustainability: a quantitative analysis. **Sci Rep** 10, 7631, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63657-6>.

BUSCH, J. FOXON, T. J., TAYLOR, P. G. Designing industrial strategy for a low carbon transformation. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Vol. 29, pp. 114-125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.07.005>.

CAPRA, F., JAKOBSEN, O. D. A conceptual framework for ecological economics based on systemic principles of life. **International Journal of Social Economics**, 2017. DOI: 10.1108/IJSE-05-2016-0136.

CIMOLI, M.; DOSI, G.; NELSON, R.; STIGLITZ, J. **Instituições e políticas moldando o desenvolvimento industrial: uma nota introdutória**. Revista Brasileira de Inovação, 6 (1), pp. 55-85, 2007. DOI: <https://doi.org/10.20396/rbi.v6i1.8648941>.

CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. The future of Industrial Policies in the New Millenium: Toward a Knowledge-Centered Development Agenda. CIMOLI, M.; DOSI, G.; NELSON, R.; STIGLITZ, J. **Industrial Policy and Development – The Political Economy Of Capabilities Accumulation**. Oxford University Press, pp. 541-560, 2009.

CLIMATE TRANSPARENCY. **Relatório Climate Transparency: comparando a ação climática do G20 e as respostas à crise da COVID-19**, 2020. Disponível em: <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2021/07/Climate-Transparency-Report-2020_portuguese.pdf> Acesso em julho de 2021.

COHEN, W. M., LEVINTHAL, D. A. Innovation and Learning: The Two Faces of R & D, **The Economic Journal**, 99, pp. 569-596, 1989. <https://doi.org/10.2307/2233763>.

COSBEY, A. **Green Industrial Policy and the World Trading System**. Issue Brief. Entwined 30/10/2013, 2013. DOI: 10.1057/dev.2009.37.

COSTANZA, R. Changing the way we view humanity and the rest of nature. **Solutions: For A Sustainable & Desirable Future**, 2(6), 1. 2011. Disponível em: <https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=iss_pub>. Acesso em março de 2021.

COSTANZA, R., DE GROOT, R., BRAAT, L., KUBISZEWSKI, I., FIORAMONTI, L., SUTTON, P., ... & GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem services**, 28, 1-16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>.

DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystem**. Washington, DC: Island Press, 1997. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.2.119>.

DALY, H. E. **From uneconomic growth to a steady-state economy**. Edward Elgar Publishing, 2014. <https://doi.org/10.4337/9781783479979>.

DALY, H.E., FARLEY, J. **Ecological economics: principles and applications**. Washington, DC: Island Press, 2004. <https://doi.org/10.5860/choice.41-5395>.

DALY, H. Growthism: its ecological, economic and ethical limits. **Real-World Economics Review**, v. 87, p. 9-22, 2019.

DEMARIA, F., et al., What is Degrowth? From an Activist Slogan to a Social Movement, **Environmental Values** 22, pp. 191-215, 2013. DOI: 10.2307/23460978.

DITTRICH, M., GILJUM, S., LUTTER, S., & POLZIN, C. **Green economies around the world. Implications of resource use for development and the environment**. Vienna: SERI, 2012. ISBN 978-3-200-02640-7.

ERBER, F.; CASSIOLATO, J.E. (1997) **Política industrial: teoria e prática no Brasil e na OECD**. Revista de Economia Política, 17 (2), abril-junho.

EUROPEAN ENERGY AGENCY. **Growth without economic growth**. Briefing no. 28/2020, 2020. Disponível em: < <https://www.eea.europa.eu/publications/growth-without-economic-growth>> Acesso em julho de 2021.

FOXON, T. J., KÖHLER, J., MICHIE, J., e OUGHTON, C. Towards a new complexity economics for sustainability. **Cambridge Journal of Economics**, 37(1), 187-208, 2013.

GEORGESCU ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**, Harvard University Press, Cambridge 1971. ISBN 9780674281653.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento: Entropia, Ecologia, Economia. Tradução Maria José Perillo Isaac**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012. ISBN-13: 978-8539602698.

GRAMKOW, C. “**O big push ambiental no Brasil: Investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável**”. Perspectivas n. 20/2019. Fundação Friedrich Ebert Stiftung Brasil – FES, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe – Cepal, Nações Unidas 2019. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44506/S1900163_pt.pdf?f?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em julho de 2021.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. “Economic Growth and the Environment.” **The Quarterly Journal of Economics** 110 (2): 353–77, 1995. <https://doi.org/10.2307/2118443>.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. Cambridge: NBER, 1991. (Working paper n. 3914). Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/6853464.pdf>> Acesso em fevereiro de 2019. DOI: 10.3386/w3914

GRUBLER, A et al. A low energy demand scenario for meeting the 1.5 C target and sustainable development goals without negative emission technologies. **Nature energy**, v. 3, n. 6, p. 515-527, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>

HABERL, H., WIEDENHOFER, D., VIRÁG, D., KALT, G., PLANK, B., BROCKWAY, P., ... & CREUTZIG, F. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 6, p. 065003, 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab842a>.

HICKEL, J. The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet. **Sustainable Development**, 27(5), 873-884, 2019a. <https://doi.org/10.1002/sd.1947>.

HICKEL, J. Degrowth: a theory of radical abundance. **Real-world Economics Review**, v. 87, n. 19, p. 54-68, 2019b.

HICKEL, J., KALLIS, G. Is green growth possible? **New Political Economy**, v. 25, n. 4, p. 469-486, 2020. <https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964>

HOEKSTRA, A. Y., & WIEDMANN, T. O Humanity's unsustainable environmental footprint. **Science**, 344, 1114–1117, 2014. DOI: 10.1126/science.1248365.

HOLT, R. P., SPASH, C. L. Post Keynesian and ecological economics: alternative perspectives on sustainability and environmental economics. In: **Post Keynesian and Ecological Economics: Confronting Environmental Issues**. Edward Elgar, Cheltenham, 3-24, 2009. <https://doi.org/10.4337/9781849802086>.

JACKSON, T. **Prosperity without growth: Economics for a finite planet**. Routledge, 2009. <https://doi.org/10.4324/9781315677453>.

JACOBSON, M. Z., & DELUCCHI, M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. **Energy Policy**, 39(3), 1154–1169, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.040>.

JOHNSON, B. Introduction: the idea of industrial policy. **The industrial policy debate**. San Francisco, ICS Press, 1994.

KALLIS, G. In defence of degrowth. **Ecological economics**, v. 70, n. 5, p. 873-880, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.12.007>.

LATOUCHE, S. **Pequeno tratado do decrescimento sereno**. Tradução: Claudia Berliner. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2009. ISBN-13: 978-8578272012.

LEITÃO, S., VASCONCELLOS, L. **Qual o impacto do desmatamento zero no Brasil**. São Paulo: Instituto Escolhas, out. 2017. Disponível em: < <https://escolhas.org/wp-content/uploads/2017/10/Escolhas-Sum%C3%A1rio-Desmatamento-Zero-duplas.pdf>>. Acesso em março de 2021.

LUSTOSA, M. C. J. Inovação e tecnologia para uma economia verde: questões fundamentais. **Política Ambiental**, 8, 111-122, 2011.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC. 2005. ISBN 1-59726-040-1.

MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J., BEHRENS III, W. **Limits to growth**. Nova York: Universe Books, 1972. <https://doi.org/10.2307/2060819>.

MEALY, P., TEYTELBOYM, A. Economic complexity and the green economy. **Research Policy**, p. 103948, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>.

O'NEILL, D. W., FANNING, A. L., LAMB, W. F., & STEINBERGER, J. K. A good life for all within planetary boundaries. **Nature sustainability**, v. 1, n. 2, p. 88-95, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>.

OECD. **Fostering Innovation for Green Growth**, OECD Publishing Paris, 2011.

OLHOFF, A., & CHRISTENSEN, J. M. (Eds.) (2020). **Emissions Gap Report 2020**. UNEP DTU Partnership. Disponível em: <<https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>> Acesso em junho de 2021.

PARRIQUE, T., BARTH, J., BRIENS, F., KERSCHNER, C., KRAUS-POLK, A., KUOKKANEN, A., & SPANGENBERG, J. H. **Decoupling debunked**. Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability. A study edited by the European Environment Bureau EEB, 2019.

PIKETTY, T. **Capital in the 21st Century**. Cambridge, MA: President and Fellows, Harvard College, 2013. <https://doi.org/10.4159/9780674369542>.

PWC. Net Zero Economy Index 2020: **The Pivotal Decade**. Disponível em: <<https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/net-zero-2020/the-net-zero-economy-index-2020.pdf>> Acesso em março de 2021.

RAWORTH, K. **Economia Donut: uma alternativa ao crescimento a qualquer custo**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2019.

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F. S., LAMBIN, E. F., ... E NYKVIST, B. A safe operating space for humanity. **Nature**, 461(7263), 472-475, 2009. <https://doi.org/10.1038/461472a>.

RODRIK, D. Green industrial policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469-491, 2014. DOI:10.1093/oxrep/gru025.

SCHMIDT-BLEEK, F. Factor 10: The future of stuff. **Sustainability: Science, Practice and Policy**, 4:1, 1-4, 2008. DOI: 10.1080/15487733.2008.11908009.

SCHRÖDER, E.; STORM, S. Economic Growth and Carbon Emissions: The Road to “Hothouse Earth” is Paved with Good Intentions. **International Journal of Political Economy**, v. 49, n. 2, p. 153-173, 2020. <https://doi.org/10.1080/08911916.2020.1778866>.

SOLOW, R. M. The Economics of Resources or the Resources of Economics. *The American Economic Review*, Vol. 64, No. 2, pp. 1-14, 1974. Disponível em: <<http://links.jstor.org/sici?sici=0002-8282%28197405%2964%3A2%3C1%3ATEOROT%3E2.0.CO%3B2-4>> Acesso em março de 2021.

STEFFEN, W., CRUTZEN, P.J., MCNEILL, J.R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment** **36(8)**, 2007. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2).

SUZIGAN, W.; VILLELA, A.V. **Industrial Policy in Brazil**. Campinas, IE/UNICAMP, 1997.

SYVITSKI, J., WATERS, C. N., DAY, J. MILLIMAN, J. D., SUMMERHAYES, C., STEFFEN, W., ZALASIEWICZ, J., CEARRETA, A., GALUSZKA, A., HAJDAS, I., HEAD, M. J., LEINFELDER, R., MCNEILL, J. R. 1, POIRIER, C., ROSE, N. L., SHOTYK, W., WAGREICH, M., WILLIAMS, M. Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch. **Communications Earth & Environment**, 1:32, 2020. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00029-y>

UNEP. **Towards a green economy. Pathways to sustainable development and poverty eradication**. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2011a. ISBN: 978-92-807-3143-9.

UNEP. **Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth**. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2011b. ISBN: 978-92-807-3167-5.

UNIDO. **Structural change, poverty reduction and industrial policy in the BRICS**. UNU-Merit, Vienna, 2012. Disponível em: <
<https://open.unido.org/api/documents/5100707/download/Structural%20Change,%20Poverty%20Reduction%20and%20Industrial%20Policy%20in%20the%20BRICS>> Acesso em 28 de novembro de 2018.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M. A third option for climate policy within potential limits to growth. **Nat. Clim. Change** **7**, 107–112, 2017. <https://doi.org/10.1038/nclimate3113>

VATN, A. Institutions for sustainability—Towards an expanded research program for ecological economics. **Ecological Economics**, v. 168, p. 106507, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106507.

VICTOR, P. A., ROSENBLUTH, G. Managing without growth. **Ecological Economics**, v. 61, n. 2-3, p. 492-504, 2007. <https://doi.org/10.4337/9781848442993>.

VIÑUALES, J. E. **Green industrial policy and trade**. PAGE Secretariat, UN Environment, 2017.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, p. 27-91, 1987.

WIEDENHOFER, D., VIRÁG, D., KALT, G., PLANK, B., STREECK, J., PICHLER, M., ... & HABERL, H. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part I: bibliometric and conceptual mapping. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 6, p. 063002, 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8429/pdf>.

WIEDMANN, T., et al. Scientists warning on affluence, **Nature Communications**11(1), p. 3107, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16941-y>.

WORLD WILDLIFE FUND. **Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss**. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland, 2020. Disponível em: < <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf> > Acesso em março de 2021.

CONCLUSÕES GERAIS

Em 2022 completam-se 50 anos de publicação de um dos mais famosos relatórios científicos. *Limits to Growth*, originalmente publicado em 1972, em meio à Conferência de Estocolmo, foi revolucionário porque efetivamente ensejou a discussão sobre a possibilidade de crescimento econômico contínuo diante da crescente degradação ambiental dos *Golden Years*. Foi ao mesmo tempo polêmico porque seus resultados não foram universalmente aceitos, o que gerou uma polarização no debate ambiental e que de certa forma condicionou a emergência de ramos científicos dedicados à discussão da relação entre sistema econômico e meio ambiente. O surgimento da Economia Ecológica, no fim da década de 1980, certamente está ligada aos ecos provocados pelo Relatório Meadows.

A justificativa inicial para a elaboração desta tese é a natureza inconclusiva deste debate. Afinal, é possível conciliar desenvolvimento econômico e preservação ambiental? Quais são os elementos importantes que conectam desempenho econômico e performance ambiental? Como tem evoluído este debate ao longo destes 50 anos? São perguntas cujas respostas devem ser perseguidas à luz da pesquisa científica, mas seus desdobramentos certamente alcançam os meios social e político, devido às necessidades urgentes de adaptações do sistema econômico às mudanças climáticas e degradação de outras fronteiras planetárias. A nova época geológica do Antropoceno demanda das ciências econômicas respostas realistas e viáveis para prover a sociedade de mecanismos que adequem o sistema econômico aos limites ecossistêmicos.

Como colocado, a principal motivação para a definição da temática desta tese foi desvendar as relações entre o desenvolvimento socioeconômico e a performance ambiental dos países, considerando-se um arcabouço teórico e empírico que não observasse o mundo de uma forma ideal, mas sim da complexidade de relações reais aqui existentes. Para tanto, foi necessário buscar uma roupagem teórica robusta, agregando contribuições de diversas escolas de pensamento, sob moldes da teoria dos sistemas, da economia institucionalista e evolucionária, da economia ecológica, do novo-desenvolvimentismo e da macroeconomia pós-keynesiana.

Trata-se, evidentemente, de uma proposta audaciosa. O ponto de partida, contudo, foi o distanciamento de uma investigação exclusivamente monodisciplinar e a aproximação de uma visão transdisciplinar capaz de evidenciar a multiplicidade de fatores envolvidos na relação entre meio ambiente, sociedade e economia.

O primeiro ensaio foi dedicado à revisão bibliográfica que constituiu o arcabouço teórico-analítico a partir do qual se construiu a pesquisa empírica do segundo ensaio e o diagnóstico e postulação de propostas de políticas macro e microeconômicas “verdes” do terceiro ensaio. O esforço em concatenar as contribuições teóricas que facilitem a análise da realidade das relações entre economia-meio ambiente foi fundamental para se conseguir formatar e interpretar os resultados empíricos e as propostas de políticas públicas.

O segundo ensaio absorveu as contribuições do primeiro e delineou a discussão de desenvolvimento econômico sob a ótica da complexidade econômica, numa perspectiva novo-desenvolvimentista. Buscou-se investigar a importância da mudança estrutural da economia e sua inserção no comércio internacional como instrumento de entendimento da relação entre os propulsores da degradação ambiental e a intensidade desta degradação, seja pela ótica da entrada de matéria e energia de baixa entropia, seja pela ótica da saída de matéria e energia degradadas.

Observou-se que, ao dividir-se a amostra de países entre menos e mais complexos, variáveis explicativas como o ECI, TRADE, FDIinflow, FREEDOM, REC e FBCF apresentam impactos distintos para cada grupo, ainda mais quando se observa se há a ocorrência de *decoupling* de recursos e de impacto, e se este é baseado apenas na produção interna ou no padrão de consumo de sua nação. De modo geral, para os países mais complexos, a tendência do *decoupling* de recursos e de impacto ocorre de forma mais uniforme e de modo mais robusto na descarbonização da economia. Por outro lado, o comportamento para os países menos complexos foi o inverso: maior facilidade no *decoupling* de recursos e maior intensificação nas variáveis de impacto. A liberdade econômica se mostrou fundamental para a promoção do *decoupling* do impacto ambiental. Portanto, é premente desenvolver estratégias que conciliem a busca por um ambiente livre para ação dos atores econômicos e a atuação estatal de modo a promover o desenvolvimento de setores que combinem dinâmica industrial, elevada agregação de valor e promoção da sustentabilidade ambiental, por exemplo, setores ligados às energias de fontes renováveis e produtos amigáveis ao meio ambiente.

A inclusão da complexidade econômica na análise da relação economia-meio ambiente não se trata apenas de um refinamento empírico ao se colocar uma nova variável na análise. Trata-se também de um avanço em termos de política, porque nas formulações originais da Curva Ambiental de Kuznets crescimento econômico qualquer era suficiente para resolver os problemas ambientais. Agora, com os estudos de complexidade, incorpora-se a ideia de que não é qualquer crescimento econômico nem qualquer mudança estrutural que é capaz de promover

melhor performance ambiental. É necessário que o crescimento econômico seja seletivo do ponto de vista setorial, que busque complexificar a estrutura produtiva dentro de um desiderato que é o respeito aos limites ecossistêmicos. Contudo, ficou evidente pela investigação realizada que apenas complexificação da estrutura produtiva dos países não é suficiente para a resolução dos problemas ambientais. Há limites termodinâmicos ao crescimento da eficiência ecológica, o que pressupõe que junto às políticas de incentivo ao *decoupling* são necessários outros esforços normativos no sentido de alterar o significado e objetivo último de desenvolvimento econômico.

O terceiro ensaio cuidou de realizar o diagnóstico sobre a suficiência – ou não – do *decoupling* como instrumento de alcance eficaz da transição para uma economia de baixo carbono adequada com as fronteiras planetárias, em especial, com as metas do Acordo de Paris. Tendo em vista a resposta negativa a esta suposição, buscou-se a constituição de uma estratégia de desenvolvimento que seja compatível com a busca pela suficiência das necessidades humanas básicas e dignidade de liberdade de escolhas, em um cenário mais realista de necessidade de redução da demanda final de uso de energia para se conseguir limitar o aquecimento global a 1,5°C até 2100, a partir de políticas macroeconômicas que englobem a noção da sustentabilidade ambiental, e de políticas microeconômicas – em especial, “industriais verdes” – que possibilitem a atuação do Estado e da iniciativa privada em uma “estratégia de complexificação verde”. Assim, os países em desenvolvimento, menos complexos, transcorreriam um “atalho” para alcançar a prosperidade socioeconômica, com menor intensidade de degradação ambiental e respeito aos limites ecossistêmicos.

Por “atalho” não se quer dizer que para os países em desenvolvimento o caminho a ser trilhado está posto e que será mais fácil a eles alcançarem o *status* de “desenvolvidos”. “Atalho” aqui significa uma mudança de rumo significativa no sentido de que tais países não devem perseguir a mesma estratégia de desenvolvimento em termos de degradação ambiental.

No debate sobre desenvolvimento econômico e meio ambiente, as ideias do “pai” da economia ecológica, Nicolas Georgescu-Roegen, são cada vez mais atuais e preponderantes. A avaliação da prosperidade socioeconômica deve migrar cada vez mais do fetichismo monetária para uma análise de metabolismo socioeconômico, com o entendimento das leis da termodinâmica como limitantes para o crescimento econômico. Ademais, a ideia de *degrowth* nos países desenvolvidos passa a ser mais estudada para se colocar em prática, tendo em vista os limites de possibilidades da economia circular, demandando o *retrofit* dos sistemas energéticos e padrões de consumo para se limitarem às fronteiras planetárias. Portanto, julga-

se pelas contribuições a esta presente tese e ao debate econômico atual que Georgescu-Roegen merece ser colocado ao lado dos quatro grandes heterodoxos (Keynes, Marx, Schumpeter e Kalecki), visto a atualidade, adequação e destaque crescente de suas ideias, defendidas desde a década de 1970.

Por fim, a economia ecológica pode ser referência na condução deste debate entre desempenho econômico e performance ambiental, evitando-se o maniqueísmo das posições que de um lado demonizam o crescimento econômico e de outro o consideram um *deus ex machina*. Esta tese demonstrou que ela consegue se somar a contribuições de outras vertentes de pensamento que convergem em princípios, valores e objetivos, viabilizando uma ressignificação do conceito de “prosperidade”. Enquanto as nações mais afluentes precisam pensar no *degrowth* como via única para adequação ao Antropoceno, os países em desenvolvimento precisam focar na “estratégia de complexificação verde” para superação dos desafios sociais, econômicos e ambientais.