CARLOS GERMÁN MEZA GONZÁLEZ

**TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:
LIMITES E POSSIBILIDADES NO CAPITALISMO CONTEMPORÂNEO.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ildo Luís Sauer

Versão Corrigida

SÃO PAULO

2018

MEZA, C.G. Transição energética global e desenvolvimento sustentável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____
Instituição _____
Julgamento _____

Prof. Dr. _____
Instituição _____
Julgamento _____

Prof. Dr. _____
Instituição _____
Julgamento _____

Prof. Dr. _____
Instituição _____
Julgamento _____

Prof. Dr. _____
Instituição _____
Julgamento _____

DEDICATÓRIA

Metáfora insuportável

Esta tese não é como uma filha.

Minha filha se chama **Camila**.

Camila fará 12 anos este ano,

6 fisicamente longe do pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao povo brasileiro por financiar meus estudos de pós-graduação no Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). Sou grato à minha família, aos meus amigos e ao Prof. Sauer. Sou grato a você também, Cata. Estamos juntos.

RESUMO

MEZA, Carlos Germán. **Transição energética global e desenvolvimento sustentável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo**. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Há décadas a comunidade científica vem alertando sobre as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões gases de efeito estufa. Sobre dois pilares fundamentais têm se sustentado a narrativa e as ações para enfrentar a crise ecológica global (a) na ‘desmaterialização’ da economia usando tecnologias e processos cada mais eficientes (b) na descarbonização da economia usando fontes renováveis. Não obstante, os resultados gerais deste trabalho não encontraram evidência empírica de desmaterialização ou descarbonização da economia mundial. Partindo deste resultado em escala global, aprofundou-se a análise empírica ao nível individual de todas as economias do planeta. Os resultados encontrados indicam que em 4 economias com elevada renda e desenvolvimento tecnológico tem havido descasamento forte (*strong decoupling*) do uso de energia e das emissões de CO₂. Porém, este resultado contrasta com evidências compiladas que apontam que o determinante principal deste descasamento está associado a um processo de desindustrialização destas economias e, concomitantemente, uma acelerada importação de mercadorias produzidas pelas indústrias da Ásia, especialmente a chinesa (energizada a carvão). Portanto, a julgar pela dominância fóssil passada e ainda vigente, não se vislumbra um cenário no curto e médio prazos, de ruptura abrupta entre crescimento econômico futuro e o uso de energia majoritariamente produzida com fósseis. O que está em curso é a gestação de uma futura transição energética alimentada pela introdução de fontes renováveis na matriz energética mundial nos últimos anos, mas com limitações socioeconômicas importantes que são descritas neste trabalho. É mostrado que América Latina pode ter um papel crucial nesta transição, com a industrialização e sinergia regional entre seus recursos naturais (tanto renováveis como não renováveis), sendo as reservas de lítio para produção de baterias um recurso estratégico para impulsionar a mobilidade elétrica. Além da importância socioambiental e política dos padrões analisados neste trabalho, é mostrada também a relevância teórica destes, pois permitem aprofundar o questionamento da representação ortodoxa das relações entre Economia e Natureza.

Palavras-chave: Transição energética global. Desenvolvimento sustentável. Combustíveis fósseis. Energias renováveis.

ABSTRACT

MEZA, Carlos Germán. **Global energy transition and sustainable development: limits and challenges in contemporary capitalism.** 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

For decades the scientific community has been warning about climate change and the need to reduce greenhouse gas emissions. On two fundamental pillars have been supported the narrative and the actions to face the global ecological crisis (a) 'dematerialization' of the economy using more efficient technologies and processes (b) decarbonization of the economy using renewable sources. Nevertheless, the overall results of this work did not find empirical evidence of dematerialization (strong decoupling) or decarbonization of the global economy. Starting from this result on a global scale, the empirical analysis was deepened including all the economies of the planet. Our findings are that in 4 high income and technological advanced economies are signs of strong decoupling between both energy use and CO₂ emissions. However, these results contrasts with evidence in favor of a decoupling process associated with the deindustrialization of these economies. Simultaneously, the flux of imports produced by Asian industries, especially by coal-fired Chinese industries is increasing. Thus, judging by past and still prevailing fossil dominance, there is no indication of a short-medium term scenario with abrupt rupture between future economic growth and the use of energy (mostly produced with fossils). Currently, there is a global energy transition brewing, pushed by the efforts to insert renewable sources in the world energy matrix. However, important socioeconomic limitations described in this work remains. Latin America may be a crucial actor in the global energy transition, promoting the industrialization and synergy between natural resources (both renewable and non-renewable); being lithium reserves for the production of electric batteries one of the strategic resources to put forward the option of electric mobility. Besides the socioenvironmental and political importance of the results presented here, it was also highlight the theoretical relevance of these, since they allow to deepen in the debate about the orthodox representation of the relations between Economy and Nature.

Keywords: Global energy transition. Sustainable development. Fossil fuels. Renewable energy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1 Síntese histórica e exposição do problema.....	9
1.2 Objetivos e hipóteses.....	21
1.3 Considerações metodológicas	23
1.4 Estrutura da tese	24
2. DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA GLOBAL: NEXO ENERGIA, EMISSÕES DE CO ₂ E CRESCIMENTO ECONÔMICO.	26
2.1. Nexo entre energia e crescimento econômico: descasamento ‘forte’ da economia mundial?26	
2.2. Nexo energia e emissões de CO ₂ : descasamento ‘forte’ da economia mundial	35
2.3. Tendências nas energias renováveis no mundo e impacto nas emissões de CO ₂	44
3. DESCASAMENTO FORTE: UMA IMPOSSIBILIDADE?	52
3.1. Dados e metodologia.....	52
3.2. Resultados	53
4. DESCASAMENTO FORTE EM ESTADOS UNIDOS, ALEMANHA, REINO UNIDO E DINAMARCA?	59
5. DOMINÂNCIA FÓSSIL: LIMITES E POSSIBILIDADES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	73
5.1. Transições energéticas na história: processos de muito longo prazo	76
5.2. Substituição entre energias renováveis e energia fóssil: EROI baixo das renováveis e materiais geologicamente escassos como limites na transição energética	78
5.3. Esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a revolução do shale oil e shale gas ...	81
5.4. A renda dos recursos energéticos e o crescimento econômico como parâmetros de controle da transição energética	85
5.5. Agricultura orgânica versus agricultura convencional: é possível alimentar a população atual e futura prescindindo dos fósseis?.....	92
5.6. Energia nuclear.....	97
5.7. Tecnologias de armazenamento e captura de carbono e abordagens de geoengenharia climática	99
6. APORTES AOS DEBATES TEÓRICOS SOBRE SUSTENTABILIDADE ‘FORTE’, ‘FRACA’ E DECRESCIMENTO	104
6.1. Abordagem neoclássica da demanda: equilíbrio de mercado.....	104
6.2. Abordagem neoclássica da produção: recursos naturais e energia como fatores de produção	107
6.3. Abordagem geral da sustentabilidade ‘forte’	112

6.4.	Sobre o indicador de elasticidade substituição entre capital e recursos naturais.....	113
6.5.	Crítica ao modelo de Baumol (1986) sobre a possibilidade de aumentar o estoque efetivamente disponível de recursos finitos através do progresso tecnológico.....	115
6.6.	Uma nota sobre o ‘Decrescimento’	118
7.	AMÉRICA LATINA E O CARIBE: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA REGIONAL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	124
7.1.	América Latina: extrativismo para “Viver Bem”?	127
7.2.	Industrialização do lítio e mobilidade elétrica	136
7.3.	Considerações políticas finais	138
8.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
	ANEXOS.....	146
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Síntese histórica e exposição do problema

De acordo com a teoria do ‘Big Bang’, o universo se formou há aproximadamente 13,7 bilhões de anos de uma enorme concentração de energia e calor e se encontra desde sua origem em constante expansão e enfreamento (Cf. STEINER, 2006). Estima-se que o sistema solar e o nosso planeta se formaram há 4,56 bilhões de anos (BOUVIER; WADHWA, 2010; JUDSON, 2017). Portanto, a biosfera da Terra está energizada unicamente por duas fontes: a radiação solar e o calor da terra (SMIL, 2002a, p. 96); essas duas fontes de energia determinam a vida no planeta.

Os primeiros hominíneos surgiram por volta de 7 milhões de anos atrás na África e a evolução até o *homo sapiens* guarda vínculos significativos com mudanças ambientais globais ocorridas desde o Mioceno (savanização africana), que pressionaram para a mobilidade bípede-vertical adaptada exclusivamente ao meio terrestre (2,5 milhões de anos atrás), libertaram as mãos e possibilitaram a fabricação de ferramentas de pedra, e induziram o consumo expressivo de proteína animal. O nosso planeta é o único no sistema solar com três condições fundamentais conjuntas para produzir fogo (a) uma atmosfera rica em oxigênio; (b) disponibilidade de combustíveis para queimar (plantas); (c) uma fonte de ignição garantida com a radiação solar; em conjunto, é **o único que tem fogo** (JUDSON, 2017). Reconhecido pelo próprio (DARWIN, 1888), o controle do fogo, a *queima de carbono* vegetal, foi o fator mais decisivo na evolução e expansão humana.

O ser humano é a única espécie no planeta que transforma quimicamente os alimentos através da cocção, o que permite um aproveitamento energético maior dos alimentos, reduz a energia e o tempo para alimentação e digestão, e expande os tipos de alimentos que podem ser consumidos, tendo um impacto direto no desenvolvimento cerebral característico dos seres humanos (AIELLO; WHEELER, 1995; ENGELS, 1884; WRANGHAM; CARMODY, 2010). Ademais, o fogo permitiu a iluminação noturna, aquecimento, proteção contra animais e caça e, definitivamente foi fundamental na expansão humana da África para o resto do planeta. Em conjunto, todos estes fatores propiciaram o desenvolvimento gradual de um

cérebro grande e complexo capaz de pensamento subjetivo e capaz de revolucionar criativa e tecnologicamente o ambiente (Cf. NEVES, 2006)¹.

Na maior parte da história (por volta de 90% do tempo de existência da espécie humana), os seres humanos vivem caçando, coletando (HALL; KLITGAARD, 2012) e começando a armazenar (TESTART et al., 1982) aquilo que a natureza oferece de forma direta no ambiente, marcando os limites dessa dinâmica social, adaptada a cada configuração geográfica², mas caracterizada por uma vida comunitária, nômade, com divisão sexual do trabalho (DAHLBERG, 1981; LEE; DEVORE, 1968) e com baixos crescimento e densidade populacional³ (SIEFERLE, 2001, p. 7). Em termos energéticos, durante milhões de anos de história proto-humana e humana, o consumo per capita diário de energia não deveu ir muito acima das necessidades calóricas de alimento e da queima de biomassa vegetal.

Aproximadamente 11.000 anos atrás surgem na região mediterrânea do Crescente Fértil as primeiras práticas agrícolas e a domesticação de animais e, já no período entre 8500 a.C. e 2500 a.C, a produção de alimentos emerge independentemente em varias partes do planeta (DIAMOND; BELLWOOD, 2003). A revolução agrícola (a domesticação de plantas e animais) provavelmente representa a primeira e mais importante dissociação da sobrevivência social humana da dinâmica natural característica das outras espécies animais no planeta (caça, pesca e coleta). Se “as alterações ambientais que começaram a ocorrer na África desde o Mioceno desempenharam um importante papel na história evolutiva dos primatas e humanos, à medida que as florestas foram dando lugar a bosques e savanas” (NEVES, 2006, p.260), o surgimento da agricultura também estaria ligado à outra grande mudança ambiental de natureza global: a passagem do Pleistoceno para o Holoceno⁴.

¹ Para alguns autores, pode-se pensar nessa trajetória de evolução e consolidação de longo prazo da espécie humana ligada à queima e emissão de carbono como o germen inerente da mudança climática global atual: o Antropoceno (RAUPACH; CANADELL, 2010).

² Cf. SCHEINSOHN (2003) para as particularidades de América do Sul e SØRENSEN (2009) para o caso das regiões frias do Norte de Europa.

³ O ser humano exige um longo período de assistência por parte da mãe, e o indivíduo permanece dependente até 4-6 anos, atingindo a maturidade sexual apenas em torno dos 10-12 anos. Portanto, não é possível uma elevada taxa de natalidade tendo a necessidade de sobrevivência ligada à mobilidade para caça e coleta (carga de filhos). Adicionalmente, se somam a irregularidade sazonal do acesso aos alimentos, o que significava períodos com insuficiente ingesta calórica, provocando eventuais reduções de gordura das mulheres para menos de 22% do peso corporal e eliminando ou desregulando a ovulação feminina e déficits de zinc (comuns em dietas vegetais férreas) podem reduzir a quantidade e qualidade do esperma nos machos humanos (Cf. Testar, 1982, p. 533).

⁴ Holoceno significa ‘totalmente recente’ e é o nome dado ao período mais recente na história da terra, que se estende desde 11.700 anos atrás e inclui o presente; caracterizado por um aquecimento climático global posterior ao Pleistoceno (WALKER et al., 2009).

Essas mudanças climáticas e ambientais ocorridas no planeta nesse período (incremento da temperatura e da umidade, por exemplo) favoreceram o surgimento e difusão de novas espécies de plantas no planeta, facilitando a transição para a domesticação de plantas e animais (GUPTA, 2004; RICHERSON; BOYD; BETTINGER, 2001). Por outro lado, a mudança climática (GUTHRIE, 2003; WROE; FIELD, 2006) e/ou própria atividade de caça realizada durante milhares de anos pelos seres humanos (MARTIN, 1973; SANDOM et al., 2014; SUROVELL et al., 2016) dizimaram a disponibilidade de uma das fontes de energia e proteína animal mais importante para os seres humanos: a megafauna. Aproximadamente 12.000 anos atrás a continuidade da organização social humana baseada exclusivamente na caça, pesca e coleta enfrentou limitações, oportunidades e pressões sociais e ambientais que gradualmente conduziram à emergência da agricultura e do pastoreio como uma nova forma de organizar as sociedades humanas⁵.

Socialmente, o impacto mais importante da transição para a agricultura e o pastoreio é a expressivamente maior produção de alimentos por unidade de área⁶, permitindo crescimento e concentração populacional e dando lugar a sociedades humanas cada vez mais numerosas e complexas social e tecnologicamente (DIAMOND e BELLWOOD, 2003; GOWDY; KRALL, 2016), que exigiam uma nova organização política para fundar a vida sedentária, surgindo então os primeiros Estados (BOSERUP, 1983; CARNEIRO, 1974).

Todas as civilizações que se desenvolveram primeiro no Mediterrâneo e posteriormente em outras partes do mundo compartilham a base agrária de suas economias e o caráter intensivo na exploração de trabalho humano (BOSERUP, 1983). O conhecimento acumulado dos ciclos naturais e a complexidade organizativa permitem avançar no aproveitamento do ciclo da água através da irrigação, o que permite aumentar a produção de alimentos, expandir os usos da água e se adaptar às condições da área habitada (Cf. IRRIGATION ASSOCIATION, 2018). Na antiguidade, o transporte era muito limitado e caro por terra (BOSERUP, 1983, p. 390) e o transporte marítimo de vela terá um papel determinante para a atividade econômica antiga (Cf. SHERRATT; SHERRATT, 1993). A maioria das embarcações no mundo antigo tinham um comprimento aproximado de uns 40 metros e uma capacidade de carga de 400 toneladas,

⁵ Evidentemente, ainda há algumas comunidades de caçadores-coletores espalhados no planeta. Muitos deles incluem a agricultura e o pastoreio nas suas atividades.

⁶ Segundo SIEFERLE (2001) o rendimento energético anual máximo para comunidade caçadoras-coletoras era 6 MJ/ha, enquanto rendimentos superiores aos 280.000 MJ/ha são encontrados na agricultura intensiva arável da China. Cálculos simplificados mostram que se um ser humano precisa em torno de 2.500 calorias por dia ou 912.500 calorias por ano, um hectare de terra produzida intensivamente com agricultura arável da China fornece energia suficiente para a manutenção da vida de 73 pessoas. Muito pelo contrário, é preciso mais de um hectare por pessoa para sobreviver em condições de vida de caçador-coletor.

encontrando-se casos de embarcações de mais de 1000 toneladas, e as velocidades, em média, não superavam os 11,1 km por hora (MEIJER; NIJF, 1992).

Embora tipicamente negligenciada, a metalurgia antiga é a primeira prototransição de combustíveis da história humana. Os primeiros registros de objetos de metal fundido são de aproximadamente 6000 anos a.C em culturas neolíticas do Oriente Médio e teria sido altamente improvável fundir o cobre e garantir as condições de redução sem o **carvão vegetal** e o uso da energia eólica (CRADDOCK, 2000); carvão vegetal com uma densidade energética superior a da lenha e, portanto, capaz de atingir temperaturas mais elevadas necessárias para fundir o cobre (1085 °C). Pela primeira vez, depois de milhões de anos de história proto-humana e humana um novo tipo de combustível e uma extensão e aprofundamento da manipulação e controle do processo de combustão para transformar quimicamente os metais, permitem superar as ferramentas de pedra. A ‘idade de pedra’ não terminou por falta de pedras, mas por causa da introdução do carvão vegetal na matriz energética.

Com a gradual adoção de novas e mais efetivas ferramentas de trabalho e armas metálicas, mais duras, duráveis e resistentes e que podem adotar forma afiada, aumentou-se a produtividade do trabalho de corte que pôde ser feito pelos músculos humanos, e definitivamente intensificou-se a exploração humana sobre a natureza (HALL E KLITGAARD, 2012) e redimensionou-se a forma de fazer guerra. Assim, o ferro passará a ser o metal dominante das grandes civilizações mediterrâneas cujas realizações influenciaram tanto a história subsequente europeia e global. Por sua parte, as civilizações americanas, até a chegada dos colonizadores, se mantiveram praticamente no uso de ferramentas de pedra (BOSERUP, 1983, p. 388), o que foi uma desvantagem no momento da defesa ante a ocupação europeia, mas não um impedimento para construção de grandes obras arquitetônicas e produtivas.

Contrariamente às formações sociais capitalistas contemporâneas, os mercados na antiguidade tinham um papel importante na economia, mas nunca adquiriram nessas sociedades a autonomia e controle verificado na sociedade liberal (POLANYI, 1980); no caso de Roma, mas que provavelmente pode ser estendido para o resto das civilizações antigas, a propriedade como tal, especificamente a propriedade da terra, nunca foi absoluta, ilimitada, exclusiva e generalizadamente individual, isto é, sempre esteve sujeita à procura de uma exploração ótima da terra associada aos interesses coletivos, que tinham sua forma institucional no Estado (JAKAB, 2015).

Apesar de que combustíveis fósseis como petróleo, turfa e carvão mineral serem conhecidos e usados na Inglaterra e na Holanda romanas, em matéria energética, a lenha e o carvão vegetal serão os combustíveis hegemônicos na matriz energética até a revolução industrial (Cf. KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p.60-61). Os benefícios de usar carvão vegetal em vez de lenha não só estão restritos a uma combustão mais eficiente e maior temperatura, mas também envolvem a vantagem logística de ser um combustível mais leve, aspecto de extrema importância com as limitadas redes de transporte terrestres que existiam. O elemento verdadeiramente distintivo da Antiguidade em matéria energética será a **difusão gradual do moinho de água vertical**. Para MARX (1996, p.464), o Império Romano transmitiu-nos a forma elementar de toda maquinaria com o moinho de água. Em outras palavras, toda a história do desenvolvimento da maquinaria pode ser seguida através da história dos moinhos de trigo (Ibid, p.464, pé de página 638)⁷. Comparados com os moinhos movidos por força animal, os moinhos de água eram significativamente mais caros para serem instalados, mas a produção de farinha se incrementou expressivamente também, dada a maior velocidade angular do eixo principal do moinho (30 r.p.m) em comparação com a velocidade que se pode atingir com força animal (6 r.p.m); ademais não requer supervisão durante 100% do tempo de operação (WILSON, 2002, p.12).

A difusão gradual do moinho de água não foi suficiente para evitar o declínio e queda definitiva do Império Romano. Para CAMERON e NEAL (2003), a razão fundamental da queda se encontra na própria dinâmica econômica escravista, sendo o trabalho escravo, fim e meio da expansão da expansão colonial romana, uma limitação na criatividade tecnológica e na implementação de tecnologia. ANDERSON (1991, p. 77) indica que invenções como os moinhos de água podem permanecer isoladas por séculos enquanto não surgem as relações sociais que podem fazê-las funcionar como uma tecnologia coletiva⁸. Sem disponibilidade de fertilizantes minerais e técnicas agrícolas modernas e com o desgaste severo do solo devido ao desmatamento para extrair madeira, aumentar a produção e produtividade agrícola para uma população de milhões de pessoas era um limitante biofísico e econômico que contribuiu

⁷ Na verdade, os moinhos de água são a mais antiga aplicação de uma força natural para fazer trabalho mecânico e sua difusão ao longo no Mediterrâneo e no norte de Europa foi de meados do século 3 a.C., até o primeiro século d.C. (WILSON, 2002, p. 9–10).

⁸ Por exemplo, as culturas Greco-romanas também eram cientes da existência da energia eletromagnética manifestada com o magnetismo (RADL (1988) apud WIKANDER (2008, p. 136) e pela eletricidade (PERNOT (1983) apud WIKANDER (2008, p.136) e KEYSER (1993) apud WIKANDER (2008, p.136), mas nunca entraram diretamente no processo de produção.

para o declínio do Império (HUGHES; THIRGOOD, 1982; SIMKHOVITCH, 1916; WRENCH, 1946).

O período feudal europeu é tipicamente estabelecido cronologicamente posterior à queda do Império Romano no século IV. Vindo da palavra feudo, o feudalismo é a mutação das outrora grandes cidades romanas para pequenos centros rurais europeus onde se aglutinam camponeses trabalhadores da terra em torno de um senhor feudal que através de vínculos político-legais de coação da força de trabalho (servidão, vassalagem, etc.) visava garantir a extração de excedentes de produção agrícola e o clero (ANDERSON, 1991, p. 123 et seq.). De forma geral, até o século X aproximadamente a economia feudal se manteve como uma economia natural, de base agrária de subsistência, complementada com caça, pesca e coleta e com limitado alcance comercial e industrial (SOLA MONSERRAT, 1988, p. 26)⁹. Do século XI até o século XIII a economia europeia, especialmente a ocidental, experimenta um impulso nas forças produtivas, especificamente na agricultura¹⁰, que permitem a efervescência da sociedade feudal.

Na economia medieval o alimento humano e animal e a biomassa vegetal (lenha) continuaram sendo as fontes de energia principais de energia. Embora a força animal representasse aproximadamente **70% da energia mecânica disponível na época** (KANDER, MALANIMA E WARDE, 2013, negrito nosso)¹¹ a ampla difusão de moinhos de água e de vento -únicas fontes de energia mecânica não-muscular da época-, permitiram um incremento na velocidade e volume da produção de farinha e outros alimentos. Adicionalmente, ao contrário da economia escravista romana, as relações sociais feudais acelerariam um processo de difusão de tecnologias que agora encontrariam um terreno fértil para a expansão do excedente agrícola (ANDERSON, 1991, p.78) e a substituição e realocação de mão-de-obra, trabalho animal e terra por máquinas (MUNRO, 2002; REYNOLDS, 2002).

⁹ A população europeia era de um pouco mais de 30 milhões de pessoas com uma densidade populacional muito baixa para os padrões atuais, de 3 habitantes por quilometro quadrado (HIGOUNET (1966) apud KANDER, MALANIMA e WARDE, 2013, p. 53).

¹⁰ De acordo com ASSIS e ROMEIRO (2002, p. 69)

[...] A agricultura europeia evoluiu de uma agricultura itinerante, para uma agricultura de permanente com a introdução do sistema de rotação bienal, para chegar-se no período entre os séculos XI e XIII, ao sistema de rotação trienal, o qual associado a uma série de outras inovações, possibilitou significantes aumentos de produtividade, dando origem ao que alguns autores consideram como a Primeira Revolução Agrícola.

¹¹ Dados para a Inglaterra do século XI. Porém, podemos assumir valores semelhantes para outras regiões e assumir um padrão com alcance geral para o continente.

O transporte de mercadorias pela via marítima continuará sendo de grande importância para a economia em geral, especialmente para a economia urbana (ANDERSON, 1991, p. 188). Na verdade, o transporte aquático marítimo ganhou um impulso importante com um conjunto de invenções no século XIII, que permitiram navegação oceânica com cargas maiores e contribuiu no empreendimento de viagens de longas distâncias, incluindo o descobrimento futuro da América que seria de vital importância para a economia europeia (Cf. LUCAS, 2010).

Se entre os séculos XI e XIII a Europa medieval atingiu o ápice econômico e cultural, a partir do século XIV se instala uma crise generalizada por todo o continente, cujo determinante fundamental virá a ser, novamente, a deterioração do solo devido ao desmatamento e mau uso e a necessidade de expansão agrícola para solos de menor produtividade, que provocaram um impacto negativo na produção agrícola e na disponibilidade de alimentos, paralisando, deteriorando e induzindo a transformação de toda a estrutura econômica feudal (ANDERSON, 1991, p. 191 et. seq). Pesquisas recentes que reconstroem as temperaturas nos últimos milênios indicam um evento importante que contribui para a explicação da redução da produtividade do solo durante os séculos XIV e XVIII: o decrescimento das temperaturas médias no Hemisfério norte (KANDER, MALANIMA e WARDE, 2013, p. 86). Em suma, a economia europeia, baseada no domínio da terra para produção agrícola, da madeira como combustível principal, da força hidráulica, eólica e animal, isto é, uma economia ‘orgânica’, atravessaria uma crise geral durante o século XVII, última fase da transição geral da economia feudal para a economia capitalista.

O capitalismo virá a ser, em essência, uma relação social específica baseada no contrato salarial e na propriedade privada da terra e dos meios de produção com ‘leis de movimento’ capitalistas específicas: o imperativo de concorrência e da maximização do lucro, a compulsão a reinvestir os excedentes, e a sistemática e implacável necessidade de aumentar a produtividade do trabalho humano e desenvolver permanentemente as forças produtivas (WOOD, 2002, p. 36–37, tradução nossa). Seria do capitalismo agrário inglês que surgiria a primeira economia industrializada do planeta, industrialização que se estenderia para o resto de Europa posteriormente.

Ainda hoje se discute entre historiadores econômicos porque surge a revolução industrial e por que se inicia na Inglaterra (Cf. CLARK, 2007), mas da perspectiva econômica, social e energética é indiscutível que (a) Inglaterra é o único país do mediterrâneo com recursos de carvão mineral com fácil acesso, fácil exploração e o primeiro da Europa a usar carvão

mineral (SIEFERLE, 2001, 78-137); (b) desde o ano 1400 até 1820, o preço do carvão mineral sempre foi inferior ao da lenha (KANDER, MALANIMA e WARDE, p.108); (c) a energia cinética e potencial dos rios e a lenha foram fundamentais para energizar a economia inglesa, especialmente a produção fabril têxtil em sua etapa inicial, mas o carvão mineral terminará se impondo em toda a indústria (MALM, 2016; WRIGLEY, 2013) (d) com a industrialização, inaugura-se uma era do crescimento econômico (CLARK, 2007, p.194-195; KANDER, MALANIMA e WARDE, 2013, p. 211), populacional (Ibid, p.227), do uso de energia (especialmente a energia produzida com estoques de combustíveis fósseis) (KANDER, MALANIMA e WARDE, 2013, p.72 e p.210; WRIGLEY, 2013), e das emissões de CO₂ (MALM, 2016), desconhecidos em intensidade e duração nas economias pré-industriais prévias na história; tendências que se estendem até hoje.

É a primeira vez na história da humanidade que a energia usada por seres humanos superava a dependência dos ciclos naturais anuais de fotossínteses (WRIGLEY, 2013) e os fluxos energéticos intermitentes (Cf. MALM, 2016) e passa a depender de estoques fósseis¹² com uma alta densidade energética, disponíveis em tempo e forma a qualquer momento para serem usados para energizar o processo econômico (WRIGLEY, 2013; MALM, 2016). O carvão mineral terminaria por se impor nas economias industrializadas europeias até início do século XX (Figura 1.1).

¹² Vale lembrar que os combustíveis fósseis se formaram dos restos de plantas que se decompuseram e se transformaram quimicamente no subsolo durante milhões de anos. Portanto, os combustíveis fósseis são produto da energia solar utilizada pelas plantas milhões de anos atrás através da fotossíntese. A rigor, como Malm (2016) indica, este esclarecimento é suficiente para rejeitar o uso popular do termo ‘economias inorgânicas’, usado por Wrigley em (1962) para se referir às economias com uso de combustíveis fósseis.

Figura 1.1 – Consumo de energia por tipo de fonte de energia para 6 economias europeias. Período 1800-1910.

Fonte: KALANDER, MALANIMA e WARDE (2013, p. 244).

O aproveitamento do carvão mineral, que possui uma capacidade energética superior ao carvão vegetal e à lenha, propiciou um incremento da produtividade do trabalho social, mediante o uso do vapor, gerado com a queima de carvão mineral, para acionar êmbolos e mover máquinas –teares, trens, navios. Essa nova base técnica abriu uma janela de possibilidades de desenvolvimento do capitalismo no século XIX. No final do século XIX, essa nova base técnica, e o próprio sistema capitalista, passaram por um aprofundamento, uma espécie de segunda fase da Revolução Industrial, quando surgiram as telecomunicações, o gerador, o motor e a transmissão elétricos e, principalmente, o motor de combustão interna à base de combustíveis com maior capacidade de transformar calor em força motriz, especialmente veicular: gasolina e óleo diesel (derivados do petróleo), que substituem os cavalos e as carruagens; dando origem à indústria automobilística moderna, que por sua vez impulsionaria a indústria nascente do petróleo e terminaria por garantir sua consolidação na matriz energética mundial. O resultado foi uma flexibilização da mobilidade individual e da circulação de mercadorias, até então sujeitas à rigidez dos trens e navios movidos pelo vapor produzido com a combustão do carvão: acelerando a convergência espaço-tempo.

Figura 1.2 – Número de veículos para mobilidade individual (1000) em diferentes países europeus, Japão, e Estados Unidos. Período 1920-2000.

	United Kingdom	France	Italy	Spain	Sweden	Netherlands	Germany	Japan	USA
1920	187	157	32	na	Na	na	61	7	8,132
1930	1,056	1,109	183	na	104	68	489	48	23,035
1950	2,258	2,150	342	89	252	139	469	48	40,339
1960	5,526	5,546	1,995	291	1,194	522	4,788	440	61,682
1970	11,515	12,900	10,181	2,378	2,289	2,600	15,100	6,277	89,200
1980	14,772	19,130	17,686	7,557	2,883	4,515	25,870	21,544	121,600
1990	19,742	23,550	27,461	11,996	3,601	5,509	30,685	35,152	143,600
2000	25,067	28,060	32,584	17,449	3,999	6,343	42,840	52,738	213,000

Fonte: MITCHELL (2007) apud KANDER, MALANIMA e WARDE (2013, p. 297).

Vale lembrar que no início da década do século XX o número de veículos elétricos registrados em EUA era superior ao número de veículos a combustão interna e movidos a vapor (HØYER, 2008, p. 64) e antes da segunda guerra mundial haviam não menos de 565 diferentes marcas de veículos elétricos (por exemplo, Bouquet, Doré, Garon, Mildé, Richard and Homard) (KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p. 292). De acordo com SAUER e SEGER (2012)

[...] Nos primórdios do vetor da mobilidade, coexistiram o veículo com motor de combustão interna (de Daimler e Benz, de Otto, de Diesel, de Ford) e com o motor elétrico (de Thomas Edison, seu empregado, Henry Ford e vários outros), este último mais desenvolvido (tecnologicamente), disseminado e eficaz. Quanto ao motor de combustão interna, os primeiros tentaram combustíveis sólidos – carvão em pó (Diesel), simultaneamente aos líquidos. Os primeiros combustíveis líquidos: óleos vegetais (Diesel) e etanol (Otto e Ford, já autônomo). A mobilidade elétrica, a carvão e biolíquidos de Edison, Ford, Diesel e outros foi vencida, mas já as portas da terceira década do século 20, pela parceria Rockfeller/Du Pont/GM, do petróleo e seus derivados e do chumbo tetraetila.

Porque triunfa a mobilidade com motor de combustão interna e usando gasolina e diesel e não a opção elétrica? Entre os fatores estão a baixa autonomia da bateria elétrica, a densidade energética maior da gasolina em comparação com outros combustíveis e em comparação com a bateria elétrica, a opinião generalizada que a confiabilidade dos veículos movidos a gasolina era maior (KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p. 292–293) e, talvez o fator mais importante, o sistema de produção industrial em massa usando correia transportadora do modelo T-Ford nos Estados Unidos (o fordismo) que permitiu redução dos custos de produção e os preços dos veículos e contribuiu no crescimento da oferta e da demanda.

O início do século XX marca também o início do que poderia ser uma espécie de segunda revolução agrícola baseada já não na domesticação das plantas e no aprofundamento do conhecimento dos ciclos naturais, mas na síntese Haber-Bosch para produção de fertilizantes, atrelada indissociavelmente até hoje, ao uso de combustíveis fósseis, uma vez que as principais matérias primas utilizadas para a produção de amônia são gás natural e derivados do petróleo (CHAGAS, 2007, p. 246). Adicionalmente, a mecanização e eletrificação da agricultura também estão claramente ligadas à queima de combustíveis fósseis e à produção de eletricidade. Assim, a denominada “revolução verde”, que bem poderia ser chamada também de “revolução negra” por sua ligação com o petróleo e carvão, consolida a dependência dos fósseis, e acelera o incremento de emissões de gases de efeito estufa, a degradação do solo e das fontes de água. Embora esta seja a parte simples e mais conhecida da história, a “revolução negra” na agricultura também eleva exponencialmente a produção de alimentos no século XX. Para ficar mais claro, sem o aumento na produtividade agrícola e o aumento na produção de alimentos o crescimento populacional do século XX até hoje, provavelmente não teria sido possível (Cf. SMIL, 2001). Isto é, a derrota do malthusianismo (que não significa a derrota da fome) que a industrialização agrícola permitiu, é também a consolidação dos combustíveis fósseis, das emissões de gases de efeito estufa e da crise ecológica global¹³.

A trajetória de consolidação dos combustíveis fósseis, especialmente, do petróleo e derivados, transformou o petróleo de uma mercadoria considerada ‘ordinária’ pelo próprio Marx (ŽIŽEK, 2012), a um recurso natural, uma mercadoria essencial para energizar o funcionamento do sistema econômico industrial urbano do século XX e o que vai do século XXI. Deste modo, se transforma em uma mercadoria de uma importância política e geopolítica altamente significativa, controlada inicialmente por companhias internacionais de petróleo com sedes nos países consumidores e, posteriormente desde a criação da OPEP em 1960 e até os dias de hoje, pelas empresas petrolíferas nacionais dos países produtores. A existência da OPEP e o exercício de controle na produção de petróleo e sua influência nos preços continua sendo fundamental na dinâmica do setor energético mundial.

Uma terceira fase da revolução industrial decolou na década de 1970 e está hoje em curso com as tecnologias da informação e o conhecimento (TICs) ou revolução da microeletrônica. Começando pela invenção do transistor ou chip de computador em 1947 por pesquisadores da

¹³ É importante lembrar que a industrialização e o desenvolvimento da economia da União Soviética ao longo do século XX, também esteve fortemente baseada na eletrificação e o uso de combustíveis fósseis.

empresa telefônica Bell (BRAUN, 1980), e posteriormente com invenção do microprocessador em 1971 (CASTELLS, 1999) e com a internet em 1969, as TICs são cada vez mais eficientes, poderosas e baratas e tem se estendido por todo o mundo em uma verdadeira rede em escala global¹⁴ (KANDER, MALANIMA, WARDE, 2013, p. 320-328). As TICs tem assumido um papel fundamental como fonte de lucro direto (Bill Gates e Microsoft como exemplo mais notável) e como parte irrestrita de toda a esfera social, desde as possibilidades de intensificar a automação e novos tipos de gestão das empresas, pretensões de desmaterializar processos produtivos com impressoras 3-D, até novas formas de exercer influência política, governar e estabelecer relações interpessoais e familiares e com as redes sociais (Facebook, Twitter, etc.), e em um futuro próximo, quiçá com a realidade virtual e realidade aumentada (Cf. GREENFIELD, 2017 para um análise abrangente).

Porém, o boom tecnológico das TICs desde a década 1970-80 contrasta nitidamente com o fim de um longo período de bonança econômica mundial e o início de um declínio e deterioração dos principais indicadores econômicos globais de crescimento, salários e investimento que se estende até hoje (BRENNER, 2009). A desaceleração econômica mundial tem sido acompanhada de uma consolidação da globalização, especialmente no que se refere à *mundialização e intensificação dos fluxos comerciais e a internacionalização do capital financeiro* (PAULANI, 2010). Simultaneamente, a estrutura produtiva mundial vem mudando: por um lado, *desindustrialização* das economias ocidentais europeias e da América do Norte, historicamente responsáveis pela primeira e segunda fase da revolução industrial, e por outro, *acelerada industrialização e crescimento econômico na Ásia de leste*, especialmente da China (FELIPE; MEHTA, 2016; KIMURA; CHANG, 2017; RODRIK, 2016).

Apesar dos avanços tecnológicos e os esforços no último meio século, os resultados agregados em matéria de redução de emissões de gases de efeito estufa, redução do consumo de recursos naturais, paralização da degradação ecológica geral, redução do consumo de energia e difusão extensiva de fontes renováveis para substituir combustíveis fósseis e atingir o desenvolvimento sustentável são limitados (Cf. MARQUES, 2015). O sistema econômico continua ‘insustentável’ (THE WORLD BANK, 2012), depois de 44 anos da publicação de *Os limites do crescimento* (MEADOWS et al., 1972) e de 30 anos do *Relatório de Brundtland* (WCED, 1987). Atualmente (em junho de 2015) os países membros de G-7 (Estados Unidos, Alemanha, Canadá, França, Itália, Japão e Reino Unido) se comprometeram para abolir o uso

¹⁴ Inclusive fora do planeta na indústria espacial.

de combustíveis fósseis no decorrer deste século como resposta para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e o impacto destas nas mudanças climáticas globais. Esta declaração representa a afirmação internacional de maior peso geopolítico na história em matéria de uma potencial transição energética da era do petróleo e dos combustíveis fósseis a uma era pós-fósseis.

As perguntas que surgem são: porque continuamos falhando nos objetivos de redução do consumo de energia, na diminuição das emissões de CO₂ e na paralização da degradação ecológica se estamos aparentemente claros de como se solucionam (substituir os fósseis, eficiência energética, consumo racional, etc.)? Que fatores estão mantendo o petróleo e os combustíveis fósseis no comando da matriz energética mundial apesar dos avanços aparentemente significativos das energias renováveis?

De acordo com os resultados de MEINSHAUSEN et al. (2009), para manter com uma chance de sucesso de 75% de aumento da temperatura inferior a meta de 2 °C acima dos níveis pré-industriais, como foi acordado na conferência do clima de 2009 em Copenhague, seria preciso que um pouco mais da metade das reservas economicamente recuperáveis de petróleo, gás e carvão do planeta ficassem no subsolo. Estimativas mais recentes indicam que 33% das reservas de petróleo, 50% das reservas de gás natural e 80% das reservas de carvão mineral deveriam se manter no subsolo entre 2010 e 2050, para que se possa conseguir atingir a meta climática dos 2 °C (MCGLADE; EKINS, 2015). Em 2015 a COP 21 em Paris acordou diminuir a meta para 1.5 °C dos níveis pré-industriais (UNFCCC. CONFERENCE OF THE PARTIES (COP), 2015) o que restringe ainda mais o ‘orçamento planetário para queimar carbono’. Isto é, tudo indica que, a indústria dos combustíveis fósseis deveria ser paralisada.

É neste contexto de profunda complexidade, contradições e novidades que se está ante a necessidade de superar os combustíveis fósseis da matriz energética mundial, visando impedir não só as crescentes emissões de CO₂ para controlar a temperatura global do planeta, mas também superar os profundos problemas socioeconômicos de pobreza, fome, desigualdade, acesso à energia, etc., os quais continuam afetando milhões de pessoas no mundo, especialmente em África, Ásia e América Latina e o Caribe, algumas dessas regiões as mais vulneráveis as mudanças climáticas e ricas em recursos naturais e energéticos.

1.2 Objetivos e hipóteses

A tese está focada no estudo geral dos limites e possibilidades da transição energética mundial pós-combustíveis fósseis como parte do desenvolvimento sustentável. Os objetivos

específicos que permitem a definição e elaboração dos 6 capítulos de conteúdo desta tese são os seguintes:

- Examinar as tendências de crescimento econômico, consumo de energia e emissões de CO₂ em todas as economias mundo visando encontrar indícios de descasamento;
- Discutir os resultados mais importantes encontrados na análise empírica na ótica do desenvolvimento da economia internacional, especialmente a tendência de desindustrialização e a reorganização na divisão internacional do trabalho;
- Examinar as possibilidades, oportunidades e desafios de eventual substituição dos combustíveis fósseis por outras fontes, especialmente as renováveis;
- Discutir os resultados encontrados desde uma perspectiva teórica em relação ao papel da tecnologia usando Baumol (1986), e também em relação à formulação do conceito de elasticidade substituição de recursos naturais e capital aplicado ao desenvolvimento sustentável;
- Avaliar o papel de América Latina na transição energética mundial e regional, especialmente dentro das propostas atuais dos governos progressistas sul-americanos em relação ao extrativismo e à exploração dos recursos naturais.

Este trabalho pretende fornecer insumos para responder distintas perguntas de pesquisa interligadas, mas que respondem a uma pergunta central: Qual tem sido o nexos entre crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂ na economia mundial e nos países? Qual é o papel dos avanços em tecnologias renováveis e eficiência energética? Há indícios de descasamento da economia mundial do uso de energia e emissões de CO₂? Há indícios em algumas economias? Qual é a explicação dos possíveis casos de descasamento? A economia mundial está na direção de superar os combustíveis fósseis e as emissões de CO₂ no decorrer deste século? Quais são os limites, oportunidades e desafios para romper a dominância dos fósseis, especificamente do petróleo na economia mundial? Que aporte podem fornecer os resultados empíricos para a discussão teórica do debate de sustentabilidade? Qual está sendo a posição de América Latina e do Caribe na descarbonização mundial e no desenvolvimento sustentável e qual deveria ser a posição no futuro?

De acordo com estas perguntas de pesquisa a tese se baseia em uma hipótese geral: há um embrião de transição energética no mundo com importantes limitações e desafios e algumas oportunidades para descarbonizar a economia mundial no decorrer deste século. Não há

descasamento atual entre crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂ na economia global. Os resultados empíricos das tendências mundiais nestes indicadores podem e devem ser usados como evidência para testar modelos teóricos e discutir propostas de sustentabilidade. No que concerne à América Latina e ao Caribe, o desafio continua sendo superar os problemas históricos estruturais socioeconômicos, mas a região tem o potencial energético e de recursos naturais, que, de ser industrializados, podem ser simultaneamente um farol para orientar a descarbonização mundial e para atacar os problemas socioeconômicos que afligem a região.

1.3 Considerações metodológicas

Este trabalho está embasado na linha de pesquisa em *Energia e Sociedade* desenvolvida no programa de Pós-graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). Especificamente, na disciplina *Energia e Sociedade*, ministrada pelo Professor Ildo Luís Sauer com a colaboração de Sonia Seger Mercedes, Nilton Bispo Amado e Alessandro Barguini no IEE e na Universidade de Duke (2016), e da qual participei durante a parte final do doutorado como colaborador. A disciplina tem como objeto principal do estudo as formas de organização da produção e apropriação da energia na sociedade ao longo da história. A disciplina fornece um conjunto de bibliografias de diversas áreas do conhecimento, incluindo artigos científicos em periódicos especializados, livros e relatórios de antropologia, história, economia política, sociologia, biologia, física, cosmologia, entre outras; visando construir uma visão holística, histórica e interdisciplinar do processo de organização e apropriação da energia, que servem de base e trampolim para o desenvolvimento deste trabalho.

Portanto, esta pesquisa pretende ser de caráter interdisciplinar e está fundamentada na concepção metodológica que a pesquisa histórica na área de energia fornece conhecimento científico para entender e avaliar os desafios presentes e futuros. A interdisciplinaridade que requer este trabalho, envolvendo múltiplas áreas de conhecimento e um recorte analítico amplo, faz que alguns aspectos importantes na breve introdução histórica oferecida no trabalho, foram desconsiderados propositalmente ou involuntariamente da análise, ou que pode provocar que a análise apresente por momentos, para os especialistas nessas áreas do conhecimento, superficialidade ou inclusive inconsistências. Esta é uma das limitações deste trabalho.

Adicionalmente, apesar da pretendida interdisciplinaridade, a tese tem um viés econômico e, em menor medida, político e geopolítico. Isto devido à formação em economia do autor e porque se entende que um componente fundamental para entender os problemas e desafios energéticos, climáticos e ambientais analisados é socioeconômico e político. A tese tem um enfoque empírico nos primeiros capítulos 2, 3 e 4 usando bancos de dados de séries temporais de diferentes instituições e pesquisadores (Banco Mundial, BP, Harvard, *International Energy Agency*, Nações Unidas, entre outras). Nos seguintes capítulos a discussão entra no plano técnico-energético, econômico, teórico e político usando alguns dos resultados dos capítulos anteriores como base para a discussão. No decorrer da elaboração desta tese foram elaborados e publicados 3 artigos originais (AMADO; MEZA; SAUER, 2017; MEZA et al., 2019; SAUER et al., 2015), 1 artigo para congresso nacional (MEZA; AMADO; SAUER, 2016), 1 para congresso internacional (MEZA; AMADO; SAUER, 2017) e uma entrevista (FACHIN, 2017); estas produções contribuíram para o trabalho final.

1.4 Estrutura da tese

A tese estrutura-se em 8 capítulos. O capítulo 1 apresenta uma introdução geral do trabalho, incluindo uma síntese histórica do papel da apropriação social da energia ao longo da história e exposição do problema, enuncia os objetivos e as hipóteses, levanta algumas considerações metodológicas e apresenta a própria estrutura da tese. O capítulo 2 explora e discute as tendências recentes sobre crescimento econômico, uso de energia, emissões de CO₂ e energias renováveis no mundo. O capítulo 3 aprofunda a análise empírica para todas as economias do planeta com mais de um milhão de habitantes para 2015 visando encontrar casos específicos de descasamento entre crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂ para serem selecionados para um estudo de caso preliminar que é apresentado no capítulo 4.

O capítulo 5 orienta a discussão no plano dos limites, possibilidades e oportunidades da transição energética mundial, incluindo considerações sobre duração das transições energéticas na história, substituição entre combustíveis fósseis e renováveis, esgotamento dos combustíveis fósseis e a emergência do *shale oil* e do *shale gas*, o papel do petróleo como parâmetro de transição, agricultura orgânica, energia nuclear, técnicas de captura e armazenamento de carbono e geoengenharia climática.

O capítulo 6 pretende fornecer insumos originais para o debate teórico da sustentabilidade entre a economia ecológica e a economia neoclássica à luz dos resultados empíricos encontrados nos capítulos anteriores. Este capítulo também apresenta uma nota breve sobre o

‘decrescimento’. O capítulo 7 abre a discussão para América Latina e o Caribe e termina propondo ideais preliminares para potenciais projetos que podem contribuir para descarbonizar a região, sem necessariamente abrir mão da exploração dos recursos naturais da região, dentro do que seria uma proposta política ampla para a região. Finalmente, o capítulo 8 resume as principais conclusões do trabalho.

2. DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA GLOBAL: NEXO ENERGIA, EMISSÕES DE CO₂ E CRESCIMENTO ECONÔMICO.

O desafio mais importante, e provavelmente o mais complexo de resolver, para conter os impactos da crise ecológica global e enfrentar as mudanças climáticas, é a descarbonização de uma economia global que se desenvolveu nos últimos quase dos séculos usando combustíveis fósseis. A descarbonização implica reduzir e eliminar as emissões de CO₂ geradas da queima de combustíveis fósseis para energizar o crescimento da economia global, o aumento populacional e as formas sociais de vida contemporâneas altamente intensivas em energia. O objetivo deste capítulo é avaliar as abordagens mais importantes propostas para descarbonizar a economia mundial. A seção 2.1 e 2.2 avalia o nexo entre crescimento econômico global, uso de energia e emissões de CO₂ visando avaliar as propostas de desmaterialização atual ou futura da economia. Isto é, avaliar a conciliação entre crescimento econômico e redução de uso de energia e emissões através de um descasamento do processo econômico. A seção 2.3 apresenta o panorama atual das tecnologias renováveis, especificamente no caso da geração elétrica, e o impacto na descarbonização do consumo de energia. A seção 2.4 engloba as seções anteriores e realiza uma análise crítica mais ampla dos limites e possibilidades da transição energética mundial.

2.1. Nexo entre energia e crescimento econômico: descasamento ‘forte’ da economia mundial?

Descasamento ‘forte’ é definido como a relação empírica **inversa** entre crescimento econômico per capita real, uso de energia per capita e emissões de CO₂ per capita. Para ser mais preciso, em termos simples, a condição de descasamento ‘forte’ de uma economia aconteceria quando a série temporal do PIB cresça ao longo do tempo ($\Delta \text{PIB} > 0$) enquanto a de consumo de energia e a de emissões de CO₂ decresça ($\Delta \text{Energia} < 0$ e $\Delta \text{Emissões} < 0$) (TAPIO, 2005, p. 139). A possibilidade de descasamento ‘forte’, seria importante porque implicaria que “reconfigurações dos processos produtivos e mudanças na própria concepção de bens e serviços farão com que exijam cada vez menos transformação de insumos materiais e energéticos. Que possam assim aliviar a pressão sobre os recursos naturais” (DA VEIGA, 2015, p. 94). Caso seja possível o fenômeno do descasamento ‘forte’, eliminar-se-ia automaticamente parte da pressão por intervenções diretas na organização e funcionamento da economia global, especificamente no referente a uma urgência por transição energética mundial pós-combustíveis fósseis pois, em termos práticos, o uso de energia seria cada vez

menor. Dentro da abordagem do descasamento, um tema crucial e que ocupa um lugar muito importante no ambiente acadêmico depois da publicação do trabalho de REDDY e GOLDEMBERG (1990) é a alegada relação de U invertida entre crescimento econômico e uso de energia, que pode ser chamada de curva energética de Kuznets, inspirada no trabalho seminal sobre desigualdade e crescimento de Robert Kuznets, publicado em meados dos anos 1950 (DA VEIGA, 2015, p. 88). Isto é, seria preciso acelerar o crescimento econômico para atingir o ponto de inflexão e transitar no caminho da desmaterialização da economia.

A Figura 2.1 apresenta no eixo vertical esquerdo o consumo primário global de energia (Mtep) e no eixo direito o PIB global em dólares constantes de 2010 no período entre 1965 e 2016. Sem entrar no mérito de causalidade unidirecional ou bidirecional das variáveis¹⁵, o fato importante é que ambas as tendências são crescentes: renda mundial e uso de energia mundial crescem positivamente com elevado grau de associação.

Figura 2.1 – Consumo primário de energia mundial e PIB mundial. Período 1965-2016.

Fonte: BP (2017) e THE WORLD BANK (2017).

Se isolarmos o efeito do crescimento populacional, observamos que as trajetórias per capita das variáveis continuam mantendo uma relação positiva crescente (Figura 2.2). A Figura 2.3 apresenta o uso de energia primário per capita incluindo biocombustíveis sólidos (A) e excluindo biocombustíveis sólidos (B) em relação com o PIB per capita para 132 países no

¹⁵ Uma meta-análise de 104 estudos publicados em revistas de primeira linha examinando o nexo energia-economia e conclui que há uma divergência grande de resultados, muitas vezes contraditórios, em função dos procedimentos metodológicos, tratamento e disponibilidade de dados e técnicas econométricas aplicadas (HAJKO, 2017). Portanto, não há evidência de uma relação ‘fundamental’ entre as variáveis, isto é, não é claro se as variações do PIB ‘causam’ as variações nas variáveis energéticas, ou vice-versa ou se a relação é bidirecional.

período 1960-2010, e mostra que o nexso energia-PIB se mantém relativamente estável tanto para países da OECD como para o resto do mundo.

Figura 2.2 – Produto interno bruto per capita real (US\$2010) e consumo primário de energia per capita. Período 1965-2016.

Fonte: BP (2017) e THE WORLD BANK (2017).

Figura 2.3 – Uso de energia primaria per capita incluindo biocombustíveis sólidos (Painel A) e sem biocombustíveis sólidos (Painel B) e PIB per capita. Ajuste quadrático foi adicionado. Cada ponto é uma das 4840 observações de 132 países, período entre 1960 e 2010. Os pontos mais claros são as economias da OECD23.

Fonte: BURKE e CSEREKLYEI (2016).

Resultados de modelos econométricos de dados do painel para a maioria das economias do planeta corroboram os resultados encontrados e apontam um ponto importante: não só não há evidência de uma desmaterialização da economia, mas a elasticidade energia-PIB é maior em países com rendas altas apesar da redução significativa da intensidade energética (BURKE; CSEREKLYEI, 2016; CSEREKLYEI; STERN, 2015).

É comum associar implícita ou explicitamente o indicador de *intensidade energética* (Energia/US\$PIB) com o impacto do avanço tecnológico e eficiência energética na ‘desmaterialização’ ou ‘descasamento’ das economias (GOLDEMBERG; SIQUEIRA PRADO, 2013; UNEP, 2011). Porém, a Figura 2.4 nos mostra que embora a intensidade energética per capita esteja diminuindo, o consumo agregado per capita de energia continua aumentando. Assim, o indicador de intensidade energética é mais uma medida da **eficiência do processo econômico para usar energia e produzir riqueza monetária** do que um indicador que nos permita avaliar de forma direta se o consumo de energia agregado está diminuindo e/ou se estamos descasando e/ou desmaterializando as economias.

Na verdade, a desmitificação da intensidade energética como indicador de eficiência no consumo agregado de energia vem sendo assinalada por diversos pesquisadores como uma necessidade para avançar no aprofundamento da natureza da relação entre energia e crescimento econômico e na procura de medidas efetivas para atender os problemas associados (CECHIN; PACINI, 2012; FIORITO, 2013; POLIMENI, J., MAYUMI, K., GIAMPETRO, M., ALCOTT, 2008; SMIL, 2003, p. 70–71).

Figura 2.4 – Consumo primário de energia per capita (eixo principal) e intensidade energética mundial (eixo secundário). Período 1965-2016.

Fonte: BP (2017) e THE WORLD BANK (2017).

Dados recentes do programa de História da Energia da Universidade de Harvard nos permitem expandir o horizonte de tempo da análise. A Figura 2.5 mostra a relação entre consumo per capita de energia e PIB per capita para 8 países da Europa e Canadá no período entre 1870 e 2008 ($t=138$ anos), mostrando que o padrão de correlação positivo PIB-energia desde 1870 até hoje se mantém relativamente estável entre diferentes anos e países. Em contrapartida, a tendência de longo prazo da intensidade energética per capita vem caindo entre esses países e sua influência esperada na trajetória de uso de energia não é detectável (Figura 2.6).

Figura 2.5 – Consumo per capita de energia em relação ao PIB per capita. Cada ponto é uma das 1251 observações anuais de 9 países (Reino Unido, Suécia, Espanha, Holanda, Alemanha, França, Canadá, Itália e Portugal) no período entre 1870 e 2008.

Fonte: Elaboração própria com dados do site JOINT CENTER FOR HISTORY AND ECONOMICS; MIT RESEARCH GROUP (2018). As séries de PIB per capita foram coletadas do site de pesquisa de MADISSON (2010), Departamento de Economia da Universidade de Groningen.

Figura 2.6 – Intensidade energética per capita para 9 países (Reino Unido, Suécia, Espanha, Holanda, Alemanha, França, Canadá, Itália e Portugal) no período entre 1870 e 2008.

Fonte: Elaboração própria com dados do site JOINT CENTER FOR HISTORY AND ECONOMICS; MIT RESEARCH GROUP (2018). As séries de PIB per capita foram coletadas do site de pesquisa de MADISSON (2010), Departamento de Economia da Universidade de Groningen.

Os resultados mostrados são suficientes para descartar a hipótese que a economia global está desmaterializando desde a revolução industrial até nossos dias, pois não há um descasamento ‘forte’ ($\Delta \text{PIB} > 0$ e $\Delta \text{Energia} < 0$) independentemente da redução secular da intensidade energética. Ao contrário, a forte associação entre energia e crescimento econômico nos sugere que o crescimento econômico desde a revolução industrial tem sido impulsionado por avanços tecnológicos que aumentam a produtividade do trabalho e por um adequado fornecimento de energia útil vindo de combustíveis fósseis relativamente baratos para alimentar os processos de produção (AYRES; VOUDOURIS, 2014, p. 27).

Tampouco há evidência de um ponto de inflexão entre crescimento econômico e uso de energia e portanto, não se encontrou evidência de uma curva energética de Kuznets. A opinião acadêmica generalizada assumida posteriormente à publicação de (REDDY; GOLDEMBERG, 1990) de que as economias apresentam intensidades energéticas com um comportamento de uma U-invertida, com um crescimento na fase industrial e um decrescimento na fase pós-industrial não é empiricamente adequada para a maioria das economias avaliadas (Cf. GALES et al., 2007; RAMOS-MARTÍN, 2001 para Espanha). Provavelmente, a interpretação errada da intensidade energética em forma de U invertida se deva ao fato errôneo de omitir a energia da biomassa ‘tradicional’ da análise (Figura 2.7). Em consequência, a entrada do carvão mineral na matriz energética teria significado taxas de

crescimento no uso de energia muito altas, acima da taxa de crescimento econômico, aumentando a intensidade energética. Ao incluir a ‘biomassa tradicional’ a taxa de crescimento no uso de energia não aumentou tão rapidamente quanto a taxa de crescimento econômico *e a intensidade energética vem caindo desde 1800 até hoje, não é um fenômeno recente.*

Figura 2.7 – Comparação de intensidades energéticas da economia global (MJ/Int. G-K. \$1990) com e sem biomassa tradicional (lenha, resíduos vegetais). Período 1800-2012. Linha pontuada omite as biomassa tradicional.

Fonte: COURT e FIZAINE (2017, p.149).

Entre as explicações do acoplamento secular entre energia e PIB encontramos aquelas em que (a) não é possível eliminar a materialidade biofísica da economia (Cf. AMADO; SAUER, 2012, p.ex.) (b) a energia é um fator de produção fundamental, uma pré-condição, para o crescimento econômico (AYRES; VOUDOURIS, 2014; VOUDOURIS et al., 2015) (c) os esforços em eficiência energética têm sido superados pelo ritmo de crescimento econômico (CECHIN; PACINI, 2012) (d) a própria eficiência energética acelera o crescimento econômico, que por sua vez, acelera a demanda por energia (BARKER; DAGOUMAS; RUBIN, 2009; SCHNEIDER, 2008).

Esta última obedece ao fenômeno do efeito rebote ou efeito Jevons. Quando falamos de eficiência energética devemos retornar 152 anos ao reconhecido economista Stanley Jevons: “É uma confusão total de ideias supor que o uso mais econômico do combustível é equivalente a uma diminuição do consumo. O contrário é o verdadeiro” (JEVONS, 1866, tradução nossa). Os efeitos diretos e indiretos do efeito rebote são difíceis, e provavelmente impossíveis de calcular com precisão (KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p. 384), mas exemplos simples são úteis para entender o conceito e avaliar sua importância.

A propensão marginal a consumir¹⁶, muito utilizada para análise macroeconômica, pode ser utilizada para dimensionar de forma geral o efeito rebote. Por exemplo, a redução no faturamento de energia elétrica devido à troca de uma lâmpada incandescente por uma fluorescente compacta ou LED implica *ceteris paribus* uma redução no consumo de energia e uma redução no faturamento mensal. Se assumimos que a família que efetuou a troca tem uma propensão marginal a consumir de 0,8 e a medida de eficiência reduz as despesas mensais em digamos 10 reais, então 8 desses 10 reais disponíveis serão consumidos em outros bens e serviços que serão produzidos em outros setores da economia que, por sua vez, demandam energia para sua produção, transporte, armazenamento, etc. Assim, neste caso a eficiência energética familiar (residencial) pode levar a um aumento no consumo de energia no setor comercial e/ou industrial e, por conseguinte, no agregado¹⁷. Um segundo exemplo, da perspectiva da empresa, pode ser dado com a compra de bens de capital. (HEILBRONER, 1979, p. 188, grifos nossos) explica claramente que

“... Ainda em contraste com os bens de consumo, os bens de capital não são adquiridos por hábito ou para o deleite pessoal. São adquiridos apenas porque se espera que venham a produzir lucro quando utilizados. É frequente ouvirmos que um novo armazém, uma nova máquina, ou novo estoque deverão “pagar-se por si mesmos”. E de fato assim é. Um novo investimento aumenta a produção, e essa nova produção deve ter uma venda lucrativa. Se, por alguma razão, não se puder prever lucro, o investimento não é feito...”

Assim, quando uma empresa substitui um motor ineficiente energeticamente por um mais eficiente espera uma redução na conta de energia que diminua os custos totais de operação e, *ceteris paribus*, que aumente o lucro da empresa. Este lucro poderá ser reinvestido, distribuído entre as acionistas e proprietários, parte destinada para impostos e inclusive uma parte pode ser destinada para os salários dos trabalhadores. Sem ter por objetivo entrar em aspectos distributivos da riqueza, o importante, neste caso, é que será um catalizador da atividade econômica e acelerará a demanda de energia agregada. As limitações da análise da eficiência energética em parte se devem a uma excessiva atenção ao que HARVEY (2013, p. 159) chama da ‘forma material do processo de trabalho’; isto é, focar a eficiência energética unicamente em termos de máquinas e/ou processos tecnológicos mais eficientes, deixando de lado o propósito social econômico fundamental no qual essas máquinas e processos estão

¹⁶ Indicador que mede o incremento no consumo de mercadorias quando há um acréscimo de renda disponível.

¹⁷ É claro que o efeito rebote será diferente para cada classe social e nível de renda, pois a renda disponível ou poupança poderia ser investida em ‘bens’ culturais pouco intensivos em energia ou em alimentos, roupa, etc. ou em viagens ao exterior que requerem altas quantidades de energia para o transporte aéreo (agradeço ao colega Luis Tudeschini do Instituto de Energia e Ambiente da USP pela observação). Portanto, é de se supor que o efeito rebote será maior em países subdesenvolvidos e em populações com necessidades básicas insatisfeitas.

inseridos: aumentar os lucros, acelerar a circulação geral do capital que, por conseguinte, acelera a demanda de energia na economia.

No fundo, as explicações do acoplamento estão todas inter-relacionadas e cada uma contribui com a compressão do nexo energia e crescimento econômico. O fato fundamental sob a perspectiva de políticas públicas é que o crescimento econômico futuro, especialmente dos países pobres, mas também dos países ricos, vai requerer, pelo que se sabe até hoje, **mais energia no futuro**. Esta conclusão é consenso nas agências internacionais de energia e é complementada com a previsão de que o gás natural terá a maior taxa de crescimento entre os combustíveis fósseis e que as energias renováveis crescerão rapidamente, mas continuarão tendo um peso discreto na matriz energética mundial (ROSS; SLOAN, 2007).

É amplamente conhecido dentro dos círculos acadêmicos e pessoas interessadas na área de energia que os fluxos de energia das fontes renováveis são suficientes para satisfazer as demandas energéticas da economia mundial atual e futura. Por exemplo, no ano 2000 o consumo global de todos os combustíveis fósseis e energia primária elétrica (hidro e nuclear) foi de aproximadamente 355 EJ/ano, ou somente **0,0065 % do fluxo solar que atinge a terra** (SMIL, 2002, p. 102, tradução nossa). Com sistemas fotovoltaicos com uma eficiência de 12% por m² e uma geração estimada anual de 144 kWh/ano por m², o território necessário para atender a demanda mundial de energia, projetada em 736 quatrilhões de Btu para 2040 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2017), seria de apenas 1.5 milhões de km², ou *0,3% da superfície total da terra*¹⁸.

Deste modo, como foi colocado previamente no capítulo introdutório, o elemento preocupante de uma necessidade crescente de energia é que, desde a consolidação da primeira e segunda fase da revolução industrial até hoje, grande parte da energia que alimenta o processo econômico vem de combustíveis fósseis que emitem gases de efeito estufa na atmosfera e, muito provavelmente, estão gerando mudanças climáticas globais. Em 2010, a matriz energética mundial foi responsável por 20,33 milhões de Gigagrama (Gg) de CO₂ dos 34,42 milhões emitidos nesse ano, o que corresponde a um 59% das emissões totais. Se incluirmos o transporte, o peso ascende a 75% do total de emissões (Figura 2.8).

¹⁸ Agradeço ao colega Alex Manito do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo pela observação e ajuda nos cálculos.

Figura 2.8 – Emissões globais de CO₂ por sector

Fonte: RITCHIE e ROSER (2018).

2.2. Nexo energia e emissões de CO₂: descasamento 'forte' da economia mundial

Em referência às emissões de CO₂ o raciocínio é semelhante ao caso da energia. Desta vez, o apelo é por um descasamento entre crescimento econômico e emissões de CO₂ e uma curva de Kuznets, desta vez ambiental. A Figura 2.9 mostra que há uma tendência geral crescente das emissões globais de CO₂ no período 1965-2016. Destacam-se períodos de relativa estabilidade entre 1973-1975 (em torno das 16,5 bilhões de toneladas métricas) posteriores ao primeiro choque do petróleo, um leve decréscimo entre 1979 e 1983 (de 18,8 a 18,4 bilhões de toneladas métricas) com o segundo choque do petróleo e outro período breve de relativa estabilidade entre 1989-1994 (21,5 - 22 bilhões de toneladas métricas) posterior à dissolução da União Soviética. Os anos posteriores a 1994 são de crescimento até 2011 (salvo a crise econômica global de 2008-2009) e de estabilização entre 2011 e 2015 (32-33 bilhões de toneladas métricas). Porém, em 2016 as emissões de CO₂ atingiram **recorde histórico máximo de 33,4 bilhões de toneladas métricas e a concentração de dióxido de carbono na atmosfera foi de $402,8 \pm 0,1$ partes por milhão** (LE QUÉRÉ et al., 2017), concentração mais elevada registrada em milhões de anos. As previsões estimam um aumento de $36,8 \pm 2$ bilhões de toneladas métricas nas emissões para 2017 e essa escalada de crescimento pode se acentuar em 2018 devido a uma leve aceleração esperada no crescimento da economia mundial entre 2,9% (Banco Mundial) e 3,7% (Fundo Monetário Internacional) (JACKSON et al., 2017).

Figura 2.9 – Emissões mundiais de CO₂. Período 1965-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017).

O período de emissões estáveis entre 2011-2015, especialmente de 2013-2015 levou a Agência Internacional de Energia (IEA) a confirmar o descasamento do crescimento econômico e as emissões globais aduzindo esse descasamento ao impacto das tecnologias renováveis e à eficiência energética. O Diretor executivo da IEA, Fatih Birol, declarava em março 2016, na prévia ao acordo de Paris “confirmam-se notícias surpreendentes e bem-vindas: temos visto 2 anos seguidos de emissões de gases de efeito estufa descasadas do crescimento econômico” (IEA, 2016, tradução nossa). A supressiva retomada do crescimento das emissões até um pico histórico de 33,4 bilhões de toneladas métricas de CO₂ registrado em 2016, no meio da maior capacidade instalada e operação de fontes renováveis na história e os já regulares esforços em eficiência energética, têm sido um banho de água fria para aqueles que, como Fatih Birol, assumiram precipitadamente que o descasamento global era já um fenômeno em andamento (Figura 2.10).

Figura 2.10 – PIB mundial (US\$2010) (eixo principal) e emissões totais de CO₂ (eixo secundário).

Fonte: BP (2017) e THE WORLD BANK (2017).

Assim como para as emissões agregadas, a avaliação retrospectiva das emissões per capita também apresenta uma tendência crescente de longo prazo entre 1965 (3,4 toneladas per capita) e 2016 (4,5 toneladas per capita), com períodos de estabilidade e inclusive de decrescimento de curto prazo (Figura 2.11). A Figura 2.12 apresenta a relação entre as taxas médias de variação de longo prazo das emissões de CO₂ e o PIB per capita e confirmam a vigência de uma associação entre aceleração de crescimento econômico e aceleração de emissões (Cf. BURKE; SHAHIDUZZAMAN; STERN, 2015; STERN; GERLAGH; BURKE, 2017). As economias asiáticas lideram o crescimento das emissões devido a taxas de crescimento econômico substancialmente elevadas em comparação com o resto do mundo.

Figura 2.11 - Produto interno bruto per capita (US\$2010) no eixo principal e emissões de CO₂ per capita (toneladas) no eixo secundário. Período 1965-2016.

Fonte: BP (2017) e THE WORLD BANK (2017).

Figura 2.12 – Crescimento per capita de emissões de CO₂ (eixo vertical) e crescimento de PIB per capita real (eixo horizontal). Taxas médias de longo prazo (1971-2010).

Fonte: STERN (2014).

Da mesma forma que no caso da intensidade energética a quantidade de emissões per capita por unidade de PIB real per capita produzido vem diminuindo regularmente no período histórico recente (Figura 2.13). Assim, apesar dos avanços tecnológicos, visando reduzir emissões, o crescimento econômico mundial termina impondo uma tendência crescente conjunta, embora bem menos acentuada que no caso do nexos energia-PIB (Cf. seção anterior).

Figura 2.13 – Emissões per capita de CO₂ (eixo principal) e emissões por PIB per capita produzido (US\$ 2010) (eixo secundário). Período 1965-2016.

Fonte: BP (2017) e THE WORLD BANK (2017).

Da mesma maneira que no caso da seção anterior, é possível ir mais atrás no tempo e avaliar a relação secular entre PIB e emissões. A Figura 2.14 apresenta as emissões per capita de 11 países no período entre 1870 e 2016 (1903-2016 no caso chinês). De forma geral, as emissões

per capita aumentaram significativamente neste período (sendo a do Reino Unido a mais estável, em torno de 2,2 kg/per capita desde 1870), com um leve decrescimento de algumas economias posteriormente a 1970 e convergência em torno dos 2,2 kg per capita/ano. Por outro lado, as emissões per capita chinesas aumentaram rapidamente desde 1950, apesar China continuar sendo uma das economias com menores emissões per capita entre as consideradas.

Figura 2.14 – Emissões per capita de CO₂. Período entre 1870 e 2016.

Fonte: Elaboração própria com dados de BOLD (2018) e RITCHIE e ROSER (2018).

A Figura 2.15 mostra a relação entre emissões per capita e PIB per capita para 11 países (8 europeus, EUA, Canadá e China) no período 1870-2016 (China 1950-2016), mostrando que o padrão de correlação positivo PIB-emissões se mantém relativamente estável desde 1870 até hoje entre diferentes anos e países, mas há indícios de um crescimento econômico cada vez menos emissor uma vez que se superaram os US\$ 13.000 per capita aproximadamente. Estes dados *ainda não permitem confirmar um pico e uma inflexão nestas economias*¹⁹, mas há indícios de *uma estabilidade que poderia se consolidar em um decrescimento geral no caso de uma descarbonização dessas economias nos próximos anos*. É importante assinalar que não é recomendável extrapolar esta estabilidade emissões-PIB para a economia global, pois falta parte importante das economias do planeta na Figura 2.15 e as implicações do crescimento econômico global para as emissões globais podem diferir das encontradas no nível de países (BURKE; SHAHIDUZZAMAN; STERN, 2015, p. 119).

¹⁹ Para isso seria preciso fazer algumas regressões visando testar a significância de um parâmetro PIB² que capture a inflexão. Embora seja necessário e altamente recomendável um aprofundamento econométrico com estes dados de muito longo prazo, isto está fora do alcance deste trabalho.

Figura 2.15 – Emissões per capita de CO₂ em relação ao PIB per capita. O ajuste quadrático foi incluído. Cada ponto é um das 1449 observações anuais de 11 países (EUA, Canadá, Reino Unido, Itália, França, Alemanha, Holanda, Espanha Suécia, Portugal e China) no período entre 1870 e 2016 (1950-2016 no caso chinês).

Fonte: Elaboração própria com dados de BOLD (2018) e RITCHIE e ROSER (2018).

A tendência de longo prazo da intensidade das emissões per capita da maioria das economias desenvolvidas é decrescente nos últimos quase 100 anos, convergindo em 2008 entre 0,2 - 0,6 toneladas de CO₂ emitidas per capita por unidade de PIB per capita produzido (Figura 2.16). Este resultado é esperado levando em conta (a) avanços tecnológicos em matéria de equipamentos, maquinaria e processos produtivos menos emissores (b) desindustrialização dos países da OECD (RODRIK, 2016) (c) substituição gradual de combustíveis fósseis mais emissores como carvão mineral (92 CO₂/MJ) por petróleo (74 CO₂/MJ) e posteriormente por gás natural (56 CO₂/MJ) (LEVANDER, 1991, p.8). Ver Figura 2.17 para o caso europeu.

Figura 2.16 – Fator de emissões per capita (toneladas per capita por unidade de PIB per capita produzido).
Período 1870-2016 (1950-2016 no caso chinês).

Fonte: Elaboração própria com dados de BOLD (2018) e RITCHIE e ROSER (2018).

Figura 2.17 – Consumo de energia na Europa por tipo de fonte e peso total na matriz energética (%). Período 1870-2009.

Fonte: KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p. 257.

Porém, essa queda no indicador de intensidade de emissões não reverteu o crescimento das emissões per capita; tudo indica que a *escala de crescimento da economia e o aumento populacional* terminam impondo uma tendência crescente nas emissões per capita e agregadas. Assim, não há indícios de descarbonização da economia global, nem é possível confirmar um ponto de inflexão ainda em termos globais.

Em termos de ciência climática e em termos de responsabilidade histórica do problema atual das emissões e as mudanças climáticas, o verdadeiramente importante são as emissões acumuladas de CO₂ na atmosfera (ANDERSON; BOWS, 2012). A duração do CO₂ emitido é de *alguns séculos*, e cerca de 25% dessas emissões tem uma duração de dezenas ou centenas de milênios (ARCHER, 2010). A Figura 2.18 apresenta as emissões acumuladas desde 1751 até 2014 de 5 países: Estados Unidos, China, Alemanha, Reino Unido, Índia, Brasil e Nicarágua. Estados Unidos é o principal responsável das emissões acumuladas na atmosfera com 376,2 bilhões de toneladas emitidas até 2014 seguido pela China com 174,9 bilhões (menos da metade das emissões de EUA). Mesmo Brasil tendo uma economia forte e uma população elevada para os padrões de América Latina tem uma responsabilidade limitada em

nível global. Nicarágua por sua parte com 146,8 milhões de toneladas tem uma participação ínfima²⁰.

Figura 2.18 – Emissões acumuladas de CO₂ (Estados Unidos, China, Alemanha, Reino Unido, Índia, Brasil e Nicarágua). Período 1751-2014.

Fonte: RITCHIE e ROSER (2018).

Ainda que a totalidade das emissões no planeta acumuladas seja importante em termos climáticos, é importante entender a dinâmica temporal das emissões em função do tipo de economia (desenvolvidas e resto do mundo) de onde são emitidas. A Figura 2.19 divide as emissões globais em dois grupos: países membros da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e países que não pertencem a OECD. Os resultados indicam que o peso das economias dos países da OECD (países com elevada renda, maioria europeus) vem diminuindo de 70% das emissões totais em 1965 a 40% das emissões totais em 2016, peso que vem assumindo as economias emergentes, especialmente a chinesa.

²⁰ Quando Nicarágua, EUA e Síria decidiram não assinar o acordo de Paris em 2017 (EUA não é mais signatário) o reconhecido ambientalista estadunidense Bill McKibben escreveu referindo-se aos EUA “Não estamos sozinhos. Se os EUA saírem de Paris, se uniria à Síria e à Nicarágua no grupo contra a física (anti-physics cáucus)” (BRYCE, 2017). O conhecimento da duração do CO₂ na atmosfera e a contribuição histórica por país deveriam ser suficientes para evitar fazer afirmações infelizes e profundamente ingênuas como a anterior. Não obstante, estes dois aspectos geralmente ficam invisibilizados no debate público.

Figura 2.19 – Participação dos países da OECD e resto de países do mundo nas emissões totais. Período 1965-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017).

Mais uma vez, a Agência Internacional de Energia (IEA), afirmou em 2015 que “**nas economias da OECD**, esforços recentes para promover um crescimento mais sustentável - incluindo maior eficiência energética e mais energia renovável – estão produzindo o efeito desejado de descascar o crescimento econômico das emissões de gases de efeito estufa” (IEA, 2015, tradução nossa, **negrito nosso**). Desta vez, a afirmação parece menos desafortunada que a realizada em 2016 pelo Diretor Executivo Birol, pois desde 2011 e confirmando no ano 2016, o crescimento econômico e as emissões da OECD mostram indícios significativos de uma relação inversa alentadora (Figura 2.20).

Figura 2.20 - Emissões de CO₂ das economias da OECD, PIB da OECD e descasamento recente (círculo). Período 1970-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017) e OECD (2018).

A evidência empírica dos últimos 5 anos apoia a tese do descasamento *das economias da OECD*. Porém, haveria evidência concreta de que as forças explicativas desse descasamento de curto prazo estão associadas aos avanços em eficiência energética e energias renováveis, como afirma a Agência Internacional de Energia? Neste caso, pode-se afirmar que essa ‘descarbonização’ recente da economia da OECD vai se consolidar no longo prazo futuro e estender para o resto do mundo?

Antes de entrar especificamente na seção 2.3 do papel das energias renováveis e abordar a primeira pergunta, é importante notar que nos períodos 1973-1975 (3 anos) e 1979-1983 (5 anos) também houve descasamentos de curto prazo que posteriormente foram seguidos por crescimentos acelerados das emissões e um re-acoplamento com o crescimento da economia mundial (Fig. 2.21). Por conseguinte, ainda é prudente manter uma postura conservadora a respeito de um descasamento definitivo, pois se a economia da OECD crescer vigorosamente nos próximos anos poder-se-ia ter uma retomada de crescimento das emissões.

Figura 2.21 - Emissões de CO₂ das economias da OECD e PIB. Três períodos de descasamento de curto prazo (círculos). Período 1970-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017) e OECD (2018).

2.3. Tendências nas energias renováveis no mundo e impacto nas emissões de CO₂

As energias renováveis têm registrado um incremento mundial exponencial na capacidade instalada nos últimos 10 anos, especialmente a geração eólica e a fotovoltaica. A energia eólica é a fonte renovável não tradicional (excluindo a hidrelétrica) com a maior capacidade instalada no mundo hoje. Embora a tecnologia para produzir eletricidade a partir do vento fosse conhecida desde finais do século XIX (HARDY, 2006), a capacidade instalada eólica no mundo era praticamente inexistente até 1997. Os 20 anos seguintes testemunharam um

crescimento exponencial da capacidade até chegar a aproximadamente 500.000 MW em 2016; crescimento liderado pelos países asiáticos do Pacífico (especialmente China e Índia), Europa e Eurásia (Alemanha, Espanha e Reino Unido) e os EUA (Figura 2.22).

Figura 2.22 - Capacidade instalada acumulada eólica por regiões e mundial. Período 1997-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017).

No caso da tecnologia fotovoltaica, a capacidade instalada mundial passou de ser quase inexistente em 2007 a atingir um pouco mais de 300.000 MW instalados no mundo em 2016, sendo novamente os países do Pacífico da Ásia (especialmente China e Japão), Europa (Alemanha) e Eurásia, e os EUA, os principais responsáveis desse crescimento (Figura 2.23).

Figura 2.23 – Capacidade instalada acumulada fotovoltaica (PV) por regiões e mundial. Período 1997-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017). Nota: A capacidade instalada de Oriente Médio e América do Sul e Central não é visível na figura devido a que está sobreposta com a capacidade instalada na África, que sim aparece na parte inferior do gráfico (linha laranja).

Por sua parte, dada a especificidade geográfica espacial ainda mais restritiva para sua exploração e o custo de capital e de exploração elevados, a capacidade instalada mundial

geotérmica tem apresentado um crescimento anual firme, porém bem menos acelerado (Figura 2.24).

Figura 2.24 - Capacidade instalada acumulada geotérmica por regiões e mundial. Período 1975- 2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017).

Em termos gerais, o crescimento exponencial das tecnologias renováveis não tradicionais tem sido impulsionado por uma diminuição substancial dos preços das tecnologias²¹ (Figura 2.25), um aumento substancial dos preços médios internacionais dos combustíveis fósseis a partir do ano 2000 e uma crescente pressão política nacional e internacional para atender a agenda ambiental.

Figura 2.25 Tendências de custos anualizados da geração elétrica renovável (US\$ 2010)

Fonte: ARVIZU (2005).

O petróleo, combustível que comanda a matriz energética mundial, passou de US\$ 40 o barril no ano 2000 a mais de US\$ 100 entre 2011 e 2014, abrindo uma janela de oportunidades de mercado para o surgimento das renováveis. A Figura 2.26 apresenta os preços anuais médios referenciais do petróleo, gás natural e liquefeito e o carvão mineral no período 1984-2016.

²¹ Especialmente fotovoltaica e eólica.

Primeiramente, observa-se uma relativa estabilidade dos preços dos combustíveis fósseis desde 1984 até finais da década dos anos 90. Ao início dos anos 2000, impulsionado pela invasão liderada por EUA contra o Iraque, o preço do petróleo retoma uma espiral crescente que manterá pouco mais de uma década graças a reorganização da OPEP, liderada pelo ex-presidente venezuelano Chávez, e sinaliza o caminho para uma espiral crescente também nos preços do gás natural e do carvão mineral.

Usando os dados das figuras 2.22 e 2.23 como referências aproximadas, observa-se na figura 2.26 que crescimento da capacidade instalada renovável se consolida dentro do espiral crescente dos preços dos fósseis e de importantes políticas de subsidio em muitos países (BARBOSE, 2017; MYOJO; OHASHI, 2017; NICOLINI; TAVONI, 2017; ZHAO; GUO; FU, 2014). Mesmo que também seja comum subsidiar os combustíveis fósseis em muitos países, inclusive com quantidades de recursos financeiros superiores aos destinados às renováveis, e não internalizar monetariamente as externalidades (BRIDLE; KITSON, 2014), também é verdade que se dividimos os recursos financeiros destinados às renováveis (fundamentalmente eólica e solar fotovoltaica) pela energia produzida (subsídios por kWh produzidos), os subsídios às renováveis são superiores aos dos fósseis (GRIFFITHS et al., 2017). Isto se deve principalmente ao baixo fator de capacidade das usinas renováveis solar e eólica, em comparação com as usinas despacháveis que usam combustíveis fósseis (especialmente as usinas à carvão mineral e gás natural com ciclo combinado)²². É dizer, as fontes renováveis modernas acostumam ter um aporte energético e de potência (valor de capacidade) baixo.

²² É importante assinalar que o baixo fator de capacidade se deve principalmente à natureza intermitente das energias eólica e solar fotovoltaica, dependente dos fluxos naturais de irradiação solar e de vento. Não é o caso da energia geotérmica com um fator de capacidade muito elevado da ordem de 90-95%.

Figura 2.26 – Preços médios internacionais (Ln) dos combustíveis fósseis. Período 1984-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017). Notas: O preço médio do barril de petróleo foi calculado com os preços do petróleo de Dubai, Brent, Nigeria Forcados, WTI. O preço médio do MBtu de gás natural e GNL (Gás natural liquefeito) inclui o *Japan CIF* (1984-2016), *Average German import price CIF* (1984-2016), UK (*Heren NBP Index*) (1996-2016), *US Henry Hub* (1989-2016), *Canada (Alberta)* (1990-2016). O preço médio da tonelada de carvão mineral foi calculado usando os preços do *Northwest Europe marker price* (1987-2016), *US Central Appalachian coal spot price index* (1990-2016), *Japan steam spot coking coal import CIF price* (1987-2016), *China Qinhuangdao spot price* (2000-2016), *Japan steam import CIF price* (2001-2016) e o *Asian marker price* (1998-2016). Os preços foram transformados a logaritmo natural para diminuir as variâncias das séries.

Apesar dos desafios das fontes renováveis, em 2016 o investimento em geração elétrica renovável (excluindo grandes centrais hidrelétricas) foi aproximadamente o dobro do investimento na geração elétrica com combustíveis fósseis pelo quinto ano consecutivo (MCCRONE et al., 2017) e, de forma mais geral, o investimento mundial no setor elétrico (US\$ 718 bilhões)²³ superou, pela primeira vez na história, o investimento mundial em petróleo e gás (US\$ 650 bilhões) (FELIX, 2017). Caberia perguntar, contudo, qual tem sido o impacto concreto do aparente avanço substancial das renováveis em matéria de redução de emissões de CO₂ até hoje?

Um estudo de 29 economias da OECD no período entre 1980 a 2011 reporta que **1% de incremento no consumo de energia renovável reduz as emissões de CO₂ em 0,004 %**,

²³ Incluindo redes elétricas.

resultado que os autores qualificam como “bastante pequeno”²⁴, mas que seria suficiente para continuar na promoção das energias renováveis (SHAFIEI; SALIM, 2014). Outro estudo, desta vez para 25 economias da OECD no período 1980-2010, também conclui que um aumento de 1% na geração de eletricidade com fontes renováveis reduz as emissões de CO₂ em 0.03% (BEN JEBLI; YOUSSEF; OZTURK, 2016). Da mesma forma, BILGILI, KOÇAK e BULUT (2016) modelizam o impacto das renováveis em 17 países da OECD no período 1977-2010 e encontram um impacto geral positivo do aumento das energias renovável na redução de CO₂. Neste sentido, estes resultados corroboram o que é intuitivo: aumenta a geração renovável, diminuem as emissões de CO₂.

Inesperadamente, APERGIS et al., 2010 analisam 19 países (incluindo alguns subdesenvolvidos) no período 1984-2007 e reportam uma associação positiva, estatisticamente significativa, entre aumento de emissões de CO₂ e consumo de energia renovável. Adicionalmente, apresentam resultados que vinculam inversamente (e com significância estatística), consumo de energia nuclear e redução de emissões. Isto é, as emissões se reduziram devido à geração nuclear (o qual é esperado porque a geração nuclear não emite CO₂ na operação), mas a geração renovável não teria contribuído na redução das emissões. Embora aparentemente contra intuitivo, os autores argumentam que ante a ausência de armazenamento de energia adequado a intermitência das energias renováveis estaria obrigando a operar os sistemas elétricos com tecnologias emissoras de GEE.

YORK (2012), em um artigo intitulado *As energias ‘alternativas’ substituem os combustíveis fósseis?* (tradução nossa), assinala que uma premissa assumida de forma generalizada pelos Relatórios de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas é que cada unidade de energia produzida por combustíveis não-fósseis substitui uma unidade de energia produzida com combustíveis fósseis. O autor se propõe examinar essa premissa e usando diversos modelos econométricos com dados painel de 132 países entre 1960 e 2009 (incluindo variáveis socioeconômicas, energéticas, entre outras variáveis de controle), YORK (2012) estima **que 1 kWh de eletricidade gerado com fontes não-fósseis substituiu apenas 0.1 kWh de eletricidade gerada com fontes fósseis**. Aliás, coincide com ASPERGIS et al. 2010

²⁴ De fato, o impacto pode ser mais bem dimensionado se pensamos que o modelo estima que para reduzir as emissões em 4% seria necessário aumentar 1000% o consumo de energia renovável.

em que a geração nuclear substitui uma maior quantia de eletricidade gerada com combustíveis fósseis²⁵ (Ibid. p.442).

YORK e MCGEE (2017) para um conjunto de 128 países no período entre 1960 e 2012 reportam que *a associação entre emissões de CO₂ e crescimento econômico é mais forte em países com matrizes elétricas com maior peso de renováveis e que o crescimento de geração elétrica renovável tem um impacto supressivo menor em países ricos*. Isto é, em países com matrizes elétricas onde as renováveis têm um peso maior, o acoplamento entre crescimento econômico e emissões é mais robusto. Ainda, o impacto das renováveis na redução das emissões é maior nos países com rendas baixas que nos países com rendas altas. Para YORK e MCGEE (2017) estes resultados estariam indicando que as renováveis estariam substituindo a geração nuclear e, não intencionalmente, fortalecendo a dependência em combustíveis fósseis.

Uma hipótese para explicar a causa pela qual pesquisas publicadas em periódicos de primeira linha apresentam resultados contraditórios sobre o papel das renováveis em matéria de redução de emissões e substituição de geração fóssil, seja de cunho metodológico: variáveis utilizadas, períodos de tempo analisados, técnicas econométricas aplicadas, etc. Sem embargo, um ponto importante que deve ser referido é que os dados mais recentes com que trabalharam esses autores citados acima são de 2012 (YORK; MCGEE, 2017), justamente quando o descasamento observado das economias da OECD estava começando e a tecnologia fotovoltaica consolidava seu crescimento na capacidade instalada mundial. Logo, é duvidoso que esses estudos tenham conseguido capturar o efeito da penetração recente das renováveis nos últimos 5 anos. É preciso continuar estudando esta relação, pois a própria produção e comercialização das tecnologias renováveis está inserida em uma matriz energética fóssil (o próprio painel fotovoltaico, por exemplo, é produzido usando energia fóssil no processo de produção, transporte, etc.), por conseguinte, não há uma substituição perfeita. Porém, a continua penetração de fontes renováveis que não emitem CO₂ na operação deve ter um impacto gradual na redução das emissões.

²⁵ Este resultado não permanece surpreendente, se levamos em conta que a geração nuclear atende a base da curva de carga elétrica, sendo o fator de capacidade das usinas nucleares de 90%-95%. Inclusive, como afirma Paul Denholm, as usinas nucleares podem ser utilizadas para seguimento da carga como acontece regularmente no sistema elétrico francês (ROBERTS, 2018). O lugar da geração nuclear no atendimento da base da demanda de países onde não se explora este tipo de tecnologia é tipicamente assumido pelas usinas à carvão mineral e/ou à gás natural com ciclo combinado.

Em suma, ainda hoje, é prematuro confirmar com os resultados da literatura científica analisados se efetivamente o avanço que observamos na geração renovável esteja produzindo esse descasamento que temos observado nos últimos 5 anos nas economias da OECD e se vai se consolidar no futuro ou se observaremos um re-acoplamento como já aconteceu no passado. É importante estender o horizonte da análise e investigar variáveis adicionais além simplesmente de geração de energia renovável, como mudanças na estrutura e dinâmica econômica dessas economias e sua relação com a economia mundial, tema que será tratado em capítulos posteriores deste trabalho. O fato de que ainda não haja consenso na literatura científica nos indica que devemos aprofundar nos limites e possibilidades da transição. Porém, antes de entrar nesta discussão no capítulo 5, é preciso aprofundar nas possibilidades de descasamento, pois o fato de que não há evidência global de descasamento não quer dizer que em economias específicas o descasamento seja uma impossibilidade.

3. DESCASAMENTO FORTE: UMA IMPOSSIBILIDADE?

Dado o nexos forte e vigente entre crescimento econômico - consumo de energia - energia fóssil – emissões de CO₂ – mudanças climáticas, muito provavelmente, o crescimento econômico futuro nas próximas décadas, especialmente das economias subdesenvolvidas, continuará implicando no aumento das emissões globais e num aceleração das mudanças climáticas no futuro. Ante estes resultados não são poucos os que afirmam que o descasamento de longo prazo entre crescimento econômico e impacto ambiental é uma ‘impossibilidade’ (DALY; TOWNSEND, 1993; KALLIS, 2011; WARD et al., 2016).

Este capítulo tem como objetivo fornecer insumos para responder estas perguntas avaliando empiricamente as tendências de crescimento econômico per capita real, uso de energia per capita, e emissões de CO₂ per capita de *todas as economias do planeta* com mais de um milhão de habitantes em 2015. Neste sentido, este capítulo complementa o anterior porque avalia, não a totalidade da economia mundial ou casos de estudo específicos (por exemplo, economias da OECD), mas visa detectar possíveis alterações entre países mediante ao fato de que não há evidência global de descasamento.

3.1. Dados²⁶ e metodologia

PIB per capita real (US\$ 2010): foram analisados 147 países com mais de 1 milhão de habitantes para 2016, entre eles 25 países da América, 4 da Oceania, 29 da Europa, 41 da Ásia e 48 da África. O período de análise mais frequente em América e Oceania foi de 45 anos (1970 - 2015). Devido à desintegração da União Soviética a média do período de análise na Europa e Ásia diminui para 38 anos de análise. Já no caso da África a média de anos analisados é de 41 anos (Ver Anexos A-E).

Uso per capita de energia (kg de petróleo equivalente): Foram analisados 121 países com mais de 1 milhão de habitantes para 2016, entre eles 23 países da América, 2 da Oceania, 29 da Europa, 38 da Ásia e 29 de África. O período de análise mais frequente na América e na Oceania foi de 44 anos, entre 1971 e 2014. Em contrapartida, devido fundamentalmente à desintegração da União Soviética a média na Europa e Ásia diminui para 38 e 35 anos de análise, respectivamente. Já no caso da África a média de observações é de 39 anos (Ver Anexos F-J).

²⁶ Coletados do banco de dados do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2017).

Emissões per capita de CO₂: foram analisados 133 países com mais de 1 milhão de habitantes para 2016, entre eles 24 países da América, 4 da Oceania, 29 da Europa, 40 da Ásia e 36 da África. O período de análise mais frequente em América e Oceania foi de 44 anos, entre 1971 e 2014. Em contrapartida, devido fundamentalmente à desintegração da União Soviética a média na Europa e na Ásia diminui para 38 e 35 anos de análise, respectivamente. Já no caso da África a média de observações é de 39 anos (Ver Anexos K-O).

O primeiro passo foi usar o coeficiente de correlação de Spearman para testar a existência de tendências crescentes ou decrescentes nas séries temporais. O segundo passo foi comparar as trajetórias de produção econômica, uso de energia e emissões de CO₂: existirá desacoplamento forte quando a tendência do PIB de uma país seja crescente e simultaneamente, a tendência no uso de energia ou emissões seja decrescente. O teste de Spearman é um teste não paramétrico que pode ser usado para detectar tendências monótonas em séries temporais. A ideia consiste em ordenar as variáveis da menor para a maior, registrando a diferença entre os rankings. Se os dados estão correlacionados a soma do quadrado dos rankings será um valor pequeno. A magnitude da soma está relacionada à significância da correlação, sendo o coeficiente de correlação de Spearman dado por:

$$r_s = \frac{(1 - 6 * \sum d_i^2)}{n^3 - n}$$

Onde d_i é a diferença entre rankings para cada par de dados e n é o numero de pares de observações. Tendo as séries de dados de uso de energia per capita por ano $\{X_i, i = 1970, 1971, \dots, n\}$, a hipótese nula H_0 do teste é de que as observações X_i são independentes e identicamente distribuídas e a hipótese alternativa é que X_i aumenta ou diminui com i , isto é, a tendência existe²⁷.

3.2. Resultados

Do total de 147 países analisados para a série de crescimento econômico per capita, 116 (78,9%) apresentam uma tendência de crescimento econômico per capita real (US\$ 2010) no período analisado. Para estes países com crescimento econômico de longo prazo, só 11 países apresentaram, simultaneamente, uma tendência decrescente no uso per capita de energia (Tabela 3.1). Isto é, há evidências de um descasamento forte entre o crescimento econômico per capita real (US\$ 2010) e o uso de energia per capita nesses 11 países, e desses 11 países,

²⁷ Para exemplo de aplicação e uma formalização matemática e estatística detalhada (Cf. YUE et al., 2002).

Bulgária, Romênia, Azerbaijão e Uzbequistão foram membros ou tiveram grande influência da URSS. Portanto, experimentaram profundas transformações sociais, econômicas e políticas no início da década de 1990, sendo de especial importância para o tema do uso de energia a desestruturação em grande escala das indústrias ‘pesadas’. Assim, destacam-se 4 economias com renda elevada, estrutura econômica com elevada complexidade tecnológica e membros da OECD: *Estados Unidos, Dinamarca, Alemanha e Reino Unido*; sendo a *Cuba* o único país de América Latina que aparece na lista e dois países africanos. Neste caso, pode-se afirmar que em primeira instância, o *descasamento entre PIB real e uso de energia não é impossível*; há exceções importantes entre alguns países altamente desenvolvidos que devem ser estudadas.

Tabela 3.1 – Países com descasamento forte entre crescimento econômico per capita (US\$2010) e uso de energia per capita (kg equivalentes de petróleo). Em vermelho as economias de elevada renda.

Continente	Número de países	Países	Período de análise		Teste de Spearman	
			PIB	Energia	PIB	Energia
América	1	Cuba	1970-2014	1970-2014	Crescente	Decrescente
	2	EUA	1970-2016	1970-2016	Crescente	Decrescente
Europa	3	Bulgária	1980-2014	1980-2014	Crescente	Decrescente
	4	Dinamarca	1970-2015	1970-2015	Crescente	Decrescente
	5	Alemanha	1970-2015	1970-2015	Crescente	Decrescente
	6	Romênia	1990-2014	1990-2014	Crescente	Decrescente
	7	Reino Unido	1970-2015	1970-2015	Crescente	Decrescente
Ásia	8	Azerbaijão	1990-2014	1990-2014	Crescente	Decrescente
	9	Uzbequistão	1990-2013	1990-2013	Crescente	Decrescente
África	10	Gana	1971-2014	1971-2014	Crescente	Decrescente
	11	Moçambique	1980-2014	1980-2014	Crescente	Decrescente

Fonte: Elaboração própria com dados do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2017). Notas: Produto Interno Bruto per capita (constantes US\$ 2010), uso de energia per capita (kg de petróleo equivalente). Intervalo de confiança de 97,5%.

No que se refere às emissões de CO₂ per capita os resultados indicam que 20 economias mantiveram trajetórias de crescimento econômico de longo prazo e, simultaneamente, tendências decrescentes nas emissões de CO₂ per capita, das quais 14 são membros da OECD (Tabela 3.2); quase o dobro dos casos encontrados na Tabela 3.1. Dentro do grupo de economias descasadas encontramos a República africana de Malawi, que se encontra no posto número 8 entre as economias com o menor PIB per capita do planeta (PPP) (THE WORLD BANK, 2017) e Bulgária, Macedônia, Romênia, Azerbaijão e Uzbequistão, que foram membros ou tiveram grande influência da URSS. De novo, as transformações sociais, econômicas e políticas no início da década de 1990 e a desestruturação a grande escala das

indústrias ‘pesadas’ pode explicar este comportamento. O resultado mais significativo são as economias de *EUA, Dinamarca, Alemanha e Reino Unido novamente em uma dinâmica de descasamento, desta vez das emissões de CO₂*.

Tabela 3.2 - Países com descasamento forte entre crescimento econômico per capita (US\$ 2010) e emissões de CO₂ per capita (em vermelho as economias de elevada renda).

Continente	Número de países	Países	Período de análise		Teste de Spearman	
			PIB	CO ₂	PIB	CO ₂
América	1	Canadá	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	2	EUA	1970-2016	1970-2013	Crescente	Decrescente
Europa	3	Bélgica	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	4	Bulgária	1980-2015	1980-2013	Crescente	Decrescente
	5	República Checa	1992-2015	1992-2013	Crescente	Decrescente
	6	Dinamarca	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	7	França	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	8	Alemanha	1991-2013	1991-2013	Crescente	Decrescente
	9	Hungria	1991-2015	1991-2013	Crescente	Decrescente
	10	Macedônia	1990-2015	1992-2013	Crescente	Decrescente
	11	Holanda	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	12	Polônia	1990-2015	1990-2013	Crescente	Decrescente
	13	Romênia	1990-2015	1990-2013	Crescente	Decrescente
	14	Republica Eslovaca	1992-2015	1992-2013	Crescente	Decrescente
	15	Suécia	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	16	Suíça	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
	17	Reino Unido	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente
Ásia	18	Azerbaijão	1990-2015	1992-2013	Crescente	Decrescente
	19	Uzbequistão	1992-2015	1992-2013	Crescente	Decrescente
África	20	Malawi	1970-2015	1970-2013	Crescente	Decrescente

Fonte: Elaboração própria com dados do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2017). Notas: Produto Interno Bruto per capita (constantes US\$ 2010), toneladas métricas emitidas de CO₂ per capita. Intervalo de confiança de 97,5%.

Antes de entrar diretamente na discussão dessas economias que estão descasando seu crescimento econômico do uso de energia e das emissões de CO₂, é interessante fazer um exercício inverso: que acontece com as economias com estagnação ou decrescimento econômico forçado? Experimentaram essas economias também decrescimento ou estagnação no uso de energia e das emissões de CO₂? Como foi dito anteriormente, o elemento central da análise costuma ser a compatibilidade entre crescimento econômico e diminuição dos impactos ambientais, o que tem dado muita relevância a propostas de ‘decrescimento’ como um meio para atingir sociedades mais sustentáveis. Embora a abordagem do ‘decrescimento’ vá muito além de simplesmente um decrescimento ou uma estagnação do PIB per capita (SILVA, 2017), detectar as tendências no uso de energia e nas emissões de CO₂ dos países

com um decrescimento “forçado”, isto é, em crises econômicas de longo prazo, fornece insumos para discussão dos limites e possibilidades do ‘decrescimento’. Foram selecionados os países do mundo que *não apresentam uma tendência de crescimento econômico per capita real* e avaliadas as tendências em relação ao uso de energia e emissões de CO₂ per capita. A Tabela 3.3 mostra as 30 economias que estão estagnadas ou em crise. Os resultados mostram que 16 economias estão estagnadas (sem tendências de crescimento ou decrescimento) e 14 estão em crise econômica de longo prazo (tendência decrescente). Das 16 estagnadas, 5 mantêm um uso de energia estável (sem tendências de crescimento ou decrescimento), 4 estão diminuindo seu uso de energia e 3 estão aumentando o uso de energia, apesar da estagnação. Outras 4 não tem registro de uso de energia disponível. Das 14 economias em crise econômica (tendência decrescente), 3 mantêm um uso de energia estável, 2 estão diminuindo seu uso de energia e 2 estão aumentando, apesar da crise. A metade destas 14 economias não tem registro de uso de energia disponível.

Tabela 3.3 - Economias sem crescimento econômico (PIB per capita real) e tendências no uso de energia per capita (kg equivalentes de petróleo). Em vermelhas economias decrescentes.

Continente	Número	Países	Período de análise		Teste de Spearman	
			PIB	Energia	PIB	Energia
América	1	Venezuela	1971-2013	1971-2013	Estável	Estável
	2	Peru	1971-2014	1971-2014	Estável	Estável
	3	Nicarágua	1971-2014	1971-2014	Decrescente	Crescente
Asia	4	Geórgia	1970-2015	S.D.D.	Estável	S.D.D.
	5	Irã	1971-2014	1971-2014	Estável	Crescente
	6	Kuwait	1995-2014	1995-2014	Estável	Estável
	7	Arábia Saudita	1971-2014	1971-2014	Estável	Crescente
	8	Quirguistão	1990-2014	1990-2014	Estável	Estável
	9	Tajiquistão	1990-2014	1990-2014	Estável	Decrescente
	10	Emirados Árabes Unidos	1975-2014	1975-2014	Decrescente	Estável
África	11	Camarões	1971-2014	1971-2014	Estável	Decrescente
	12	Eritreia	1992-2011	1992-2011	Estável	Decrescente
	13	Gambia	1970-2015	S.D.D.	Estável	S.D.D.
	14	Guiné-Bissau	1970-2015	S.D.D.	Estável	S.D.D.
	15	Mauritânia	1970-2014	S.D.D.	Estável	S.D.D.
	16	Nigéria	1971-2014	1971-2014	Estável	Crescente
	17	Senegal	1971-2014	1971-2014	Estável	Estável
	18	Zâmbia	1971-2015	1971-2015	Estável	Decrescente
	19	Costa do Marfim	1971-2014	1971-2014	Decrescente	Estável
	20	Gabão	1971-2014	1971-2014	Decrescente	Estável
	21	Togo	1971-2014	1971-2014	Decrescente	Crescente
	22	Rep. Pop. Dem. do Congo	1971-2014	1971-2014	Decrescente	Decrescente
	23	Zimbábue	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	24	Burundi	1970-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.
	25	Madagascar	1970-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.
	26	Níger	1970-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.
	27	Serra Leoa	1970-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.
	28	Sudão do Sul	2008-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.

29	Libéria	1970-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.
30	Rep. Cent. Africana	1970-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.

Fonte: Elaboração própria com dados do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2017). Nota: S.D.D. = sem dados disponíveis. Produto Interno Bruto per capita (constantes US\$ 2010), uso de energia per capita (kg de petróleo equivalente). Intervalo de confiança de 97,5%.

A Tabela 3.4 replica o exercício anterior, mas desta vez com as emissões per capita de CO₂. Das 16 economias estagnadas, 6 mantêm emissões estáveis (sem tendência crescente ou decrescente), 3 estão diminuindo suas emissões e 6 estão aumentando suas emissões, apesar da estagnação econômica. Só 1 não tem dados disponíveis. Das 14 economias com crise econômica, 4 mantêm emissões estáveis, 7 diminuíram as emissões e 2 aumentaram as emissões, apesar da crise econômica de longo prazo. Só uma das 14 economias em crise não tem dados disponíveis de emissões. Assim, do mesmo modo que nos casos do nexos energia-PIB, os resultados indicam que economias estagnadas ou inclusive em crise de longo prazo podem manter emissões per capita crescentes ou estáveis. Logo, decrescer economicamente de forma forçada não é garantia de um decrescimento ou uma estabilidade no uso de energia e nas emissões de CO₂. Por outro lado, praticamente desconhecemos que significaria decrescer economicamente de forma organizada e voluntária. No capítulo 6 serão abordadas algumas de essas questões relativas ao decrescimento, porém, é preciso analisar em primeiro lugar as economias em descasamento.

Tabela 3.4 - Economias sem crescimento econômico (PIB per capita real) e tendências nas emissões de CO₂ per capita (kg equivalentes de petróleo). Em vermelhas economias decrescentes.

Continente	Número	Países	Período de análise		Teste de Spearman	
			PIB	CO ₂	PIB	CO ₂
América	1	Venezuela	1971-2013	1971-2013	Estável	Crescente
	2	Peru	1971-2013	1971-2013	Estável	Estável
	3	Nicarágua	1971-2013	1971-2013	Decrescente	Crescente
Asia	4	Geórgia	1970-2015	1990-2014	Estável	S.D.D.
	5	Irã	1970-2013	1970-2013	Estável	Crescente
	6	Kuwait	1995-2013	1995-2013	Estável	Estável
	7	Arábia Saudita	1970-2013	1970-2013	Estável	Crescente
	8	Quirguistão	1992-2013	1992-2013	Estável	Estável
	9	Tajiquistão	1992-2013	1992-2013	Estável	Estável
	10	Emirados Árabes Unidos	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
África	11	Camarões	1971-2013	1971-2013	Estável	Crescente
	12	Eritreia	1994-2011	1994-2011	Estável	Decrescente
	13	Gambia	1970-2013	1970-2013	Estável	Crescente
	14	Guiné-Bissau	1970-2013	1970-2013	Estável	Estável
	15	Mauritânia	1970-2013	1970-2013	Estável	Crescente
	16	Nigéria	1970-2013	1970-2013	Estável	Decrescente
	17	Senegal	1970-2013	1970-2013	Estável	Estável
	18	Zâmbia	1970-2013	1970-2013	Estável	Decrescente
	19	Costa de Marfim	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	20	Gabão	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	21	Togo	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Crescente
	22	Rep. Pop. Dem.do Congo	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Estável
	23	Zimbábue	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	24	Burundi	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Estável
	25	Madagascar	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	26	Níger	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Estável
	27	Serra Leoa	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	28	Sudão do Sul	2008-2015	S.D.D.	Decrescente	S.D.D.
	29	Libéria	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Decrescente
	30	Rep. Central Africana	1970-2013	1970-2013	Decrescente	Estável

Fonte: Elaboração própria com dados do Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2017). Nota: S.D.D. = sem dados disponíveis. Produto Interno Bruto per capita (constantes US\$ 2010), toneladas métricas emitidas de CO₂ per capita. Intervalo de confiança de 97,5%.

4. DESCASAMENTO FORTE EM ESTADOS UNIDOS, ALEMANHA, REINO UNIDO E DINAMARCA?

O descasamento entre crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂ per capita encontrados em 4 economias de elevada renda no capítulo anterior é um fenômeno que merece uma análise mais detalhada. Durante a década de 1960 o crescimento da economia, das emissões de CO₂ e do uso de energia foi vigoroso, mas o ponto de inflexão se dá na década de 1970-80, que coincide com os choques do petróleo e com a entrada da energia nuclear. À exceção da Dinamarca, que não produz energia nuclear, as três economias em descasamento são importantes produtoras de energia nuclear, acima da média mundial (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Energia nuclear, porcentagem da geração total de eletricidade.

Fonte: ROSER e RITCHIE (2018)

Adicionalmente, principalmente depois do ano 2000, novamente num contexto de crescimento dos preços dos combustíveis fósseis, as energias renováveis aceleram sua entrada na matriz elétrica destes países. Estados Unidos e Reino Unido produziam 13% e 19,4% do total da eletricidade produzida com fonte renovável em 2014, abaixo da média mundial de ≈23%, enquanto Alemanha (26,3%) e Dinamarca (56%) estão acima da média mundial (Figura 4.2) e a Dinamarca se destaca como o país com a maior porcentagem de geração elétrica produzida a través de tecnologia de cogeração (50%) (LUND; MATHIESEN, 2009).

Figura 4.2 – Peso da energia renovável na produção de eletricidade em Dinamarca, Alemanha, Reino Unido, Estados Unidos e no Mundo. Inclui biomassa, hidroeletricidade, solar, eólica, geotérmica e marinha. Período 1990-2014.

Fonte: ROSER e RITCHIE (2018)

A penetração das renováveis e da energia nuclear contribuiriam no entendimento do descasamento entre crescimento econômico per capita real e emissões per capita de CO₂, mas pouco nos dizem sobre o descasamento do uso de energia. Portanto, é preciso investigar de forma geral as mudanças nas estruturas econômicas desses países e as mudanças na economia mundial de 1970 até hoje. Como ponto de partida, a década de 1970-80 marca o fim de um longo período de bonança econômica mundial e o início de um **declínio e deterioração dos principais indicadores econômicos globais de crescimento, salários e investimento** (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Expansões e declínio da economia mundial. Período 1890-1913 e 1950-1973 versus 1973-1996.
Incrementos percentuais médios.

Indicadores	1890-1913	1950-1973	1973-1996
PIB	4,0	4,0	2,9
PIB per capita	2,1	2,5	1,8
Salário real (na indústria)	1,6	2,2	0,0
Stock bruto de capital	5,4	3,2	-
Stock bruto de capital por hora	3,4	1,7	-

Fonte: Adaptado de BRENNER (2009, p. 19) .

A desaceleração econômica mundial tem sido acompanhada por uma consolidação da globalização, especialmente no que se refere à **mundialização e intensificação dos fluxos comerciais** e à **internacionalização do capital financeiro**: entre 1980 e 2007, por exemplo, o PIB mundial cresceu 364% (4,6 vezes) enquanto a riqueza financeira cresceu 1.525% (16,2 vezes), sem incluir os derivativos (PAULANI, 2010, p. 366). Simultaneamente, a estrutura produtiva mundial vem mudando: por um lado, **desindustrialização** das economias ocidentais europeias e de América do Norte, historicamente responsáveis pela primeira e segunda fases da revolução industrial, e por outro, **acelerada industrialização e crescimento econômico acelerado no Leste Asiático**, especialmente China (FELIPE; MEHTA, 2016; KIMURA; CHANG, 2017; RODRIK, 2016), que até poucas décadas atrás eram economias dependentes da agricultura. Todas estas transformações econômicas mundiais se dão no âmbito de uma terceira fase da revolução industrial ou revolução microeletrônica. Isto é, as tecnologias da informação e do conhecimento (TICs) assumem um papel fundamental tanto como fonte de lucro direto (Microsoft como exemplo mais notável) quanto como parte integral de todas as atividades sociais.

Dentro deste panorama econômico global estão também o grupo de economias estudadas neste capítulo, com uma marcada desaceleração das taxas médias de crescimento econômico real passando de 3-4% na década 1960-1970 a 0,5-1% nos primeiros 15 anos deste século em curso (Tabela 4.2). Essa desaceleração só não é mais aguda devido ao modesto crescimento populacional médio anual típico das economias desenvolvidas (0,2% na Alemanha, 0,4% na Dinamarca e no Reino Unido e 1% nos EUA, período 1960-2015).

Tabela 4.2 – Taxas de crescimento médias do PIB per capita (US\$ 2010), no uso de energia per capita (kg equivalentes de petróleo) e nas emissões de CO₂ per capita.

Anos	Alemanha (%)			Dinamarca (%)			Reino Unido (%)			EUA (%)		
	PIB	Energia	CO ₂	PIB	Energia	CO ₂	PIB	Energia	CO ₂	PIB	Energia	CO ₂
1960-1970	-	-	-	3,8	7,5	6,8	2,6	2,0	0,5	3,2	3,0	2,8
1970-1980	2,9	1,7	0,7	1,8	-0,6	-0,7	2,0	-0,4	-1,3	2,1	0,5	-0,2
1980-1990	2,2	-0,3	-0,6	2,1	-1,0	-1,1	2,8	0,2	0,1	2,4	-0,3	-0,1
1990-2000	1,6	-0,8	-1,9	2,3	0,3	-0,2	2,1	0,5	-0,9	2,2	0,5	0,4
2000-2015	1,2	-0,5	-0,9	0,5	-1,4	-3,2	1,0	-2,1	-2,6	0,9	-1,1	-1,5

Fonte: Elaboração própria com dados de THE WORLD BANK (2017) e BP (2017) para Alemanha.

Se estas 4 economias desenvolvidas estão se descasando do uso da energia, a primeira pergunta óbvia é: de que setores vem a diminuição do consumo de energia (residencial, industrial, comercial, transporte, etc.)? A decomposição do consumo final de energia das 4

economias por setores (residencial, transporte, agricultura, industrial e comércio e serviços) entre 1960 e 2010 é apresentada nas figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6. A conclusão é inequívoca para Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos: a tendência decrescente no uso per capita de energia se deve fundamentalmente a uma **expressiva redução do consumo de energia usado na indústria** que contrabalança o **também generalizado crescimento no consumo final de energia no setor comercial e serviços e no setor transporte**. Os setores industriais de Alemanha, Dinamarca e Reino Unido atingiram seu pico máximo histórico de consumo de energia no início da década de 1970 e EUA em 1968. Para 2010, o consumo de energia na indústria alemã já tinha diminuído à 55.297 ktep, o dinamarquês à 2.115 ktep, o do Reino Unido à 25.212 ktep e o estadunidense à 262.952 ktep. Dinamarca é um caso que deve ser melhor estudado porque a demanda residencial tem caído fortemente provavelmente impulsionada pelos investimentos em cogeração e o aquecimento distrital.

Figura 4.3. Consumo final de energia na Alemanha por setor (residencial, agricultura, transporte, industrial e comercial e serviços). Período 1960-2010.

Fonte: Elaboração própria com dados organizados por BURKE e CSEREKLYEI (2016).

Figura 4.4 - Consumo final de energia na Dinamarca por setor (residencial, agricultura, transporte, industrial e comercial e serviços). Período 1960-2010.

Fonte: Elaboração própria com dados organizados por BURKE e CSEREKLYEI (2016).

Figura 4.5 - Consumo final de energia no Reino Unido por setor (residencial, agricultura, transporte, industrial e comercial e serviços). Período 1960-2010.

Fonte: Elaboração própria com dados organizados por BURKE e CSEREKLYEI (2016).

Figura 4.6 - Consumo final de energia nos EUA por setor (residencial, agricultura, transporte, industrial e comercial e serviços). Período 1960-2010.

Fonte: Elaboração própria com dados organizados por BURKE e CSEREKLYEI (2016).

Assim, o peso do setor industrial no uso total de energia vem caindo rapidamente de 1960 a 2010, em todas as 4 economias, com maior força na Alemanha (redução de 21 pontos percentuais), Reino Unido (redução de 17 pontos percentuais) e os Estados Unidos (redução de 17 percentuais) e em menor medida em Dinamarca (12 pontos percentuais) (Figura 4.8).

Figura 4.8 - Peso do uso de energia no setor industrial. Período 1960-2010.

Fonte: Elaboração própria com dados organizados por BURKE e CSEREKLYEI (2016).

Sabemos que o uso de energia na indústria vem caindo, o próximo passo para entender essa redução do consumo de energia na indústria é examinar o emprego e a produção industrial.

Se a força de trabalho, consumo de energia e produção a preços constantes vem caindo a conclusão seria inequívoca: haveria uma desmontagem geral da indústria desses países, que está produzindo a redução no consumo de energia. Por outro lado, se a produção industrial a preços constantes vem aumentando a despeito da queda no consumo de energia e a despeito da força de trabalho estaríamos diante de um fenômeno ligado ao aumento da produtividade do trabalho e da produtividade no uso de energia.

A Figura 4.9 apresenta a porcentagem de trabalhadores empregados na indústria (dados disponíveis entre 1983 e 2015) e indica uma redução substancial do emprego industrial nessas economias. No caso da avaliação da produção industrial a preços constantes foram criados indicadores de produção industrial global (manufatura + mineração + ‘utilities’) no período entre 1970 e 2015 (Tabela 4.3). A parte superior da tabela apresenta o peso da produção industrial mundial (US\$ 2005) no PIB mundial (US\$ 2005) e o peso da produção industrial de cada país ou região (US\$ 2005) no PIB respectivo. A parte inferior da tabela exhibe o peso da produção industrial de cada país e região (US\$ 2005) na produção industrial mundial (US\$ 2005).

Figura 4.9 – Trabalhadores empregados na indústria. Período 1983-2015.

Fonte: Elaboração própria com dados organizados por BURKE e CSEREKLYEI (2016).

A Tabela 4.3 indica que em todas as economias que se descasaram (Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e Dinamarca) a produção industrial perdeu peso tanto nas suas respectivas economias como também na participação na produção industrial global²⁸. Em suma, pode-se concluir que se o consumo de energia, força de trabalho e produção industrial a preços constantes vem caindo, há uma desmontagem agressiva das indústrias desses países que está reduzindo o consumo de energia no setor industrial e o consumo de energia agregado e per capita. Não há dúvidas de que os processos produtivos modernos com um alto grau de

²⁸ Novamente, Dinamarca é a economia com menor perda da participação econômica da indústria na sua economia. Adicionalmente, nunca tem superado o 1% na produção industrial mundial.

robotização aumentaram a produtividade laboral e a eficiência no uso de energia e de materiais, mas esses ganhos de produtividade e eficiência não parecem ser os principais responsáveis da tendência decrescente no uso de energia. Até porque as tecnologias mais eficientes energeticamente vêm se difundindo em todos os setores da economia, mas a queda importante no consumo de energia total, **se dá praticamente só na indústria.**

Tabela 4.3 - Indicadores das atividades da indústria na economia global (em US\$ 2005)

	Mundo	América Latina e o Caribe	Estados Unidos	Dinamarca	Reino Unido	Alemanha	Ásia	China
Participação da indústria (manufaturas, mineração + 'utilities') no PIB								
1970	24%	27%	23%	17%	22%	31%	27%	21%
1980	24%	27%	20%	17%	20%	28%	28%	28%
1990	22%	27%	18%	18%	18%	26%	26%	29%
2000	22%	27%	18%	19%	17%	23%	31%	39%
2010	22%	24%	17%	16%	13%	23%	31%	42%
2015	22%	23%	16%	15%	11%	24%	31%	43%

	Mundo	América Latina e o Caribe	Estados Unidos	Dinamarca	Reino Unido	Alemanha	Ásia	China
Participação da indústria (manufaturas, mineração + 'utilities') por país e região na indústria global								
1970	100%	6%	26%	1%	6%	11%	19%	1%
1980	100%	8%	22%	0%	5%	9%	22%	1%
1990	100%	7%	22%	0%	5%	9%	26%	2%
2000	100%	7%	23%	1%	4%	7%	31%	6%
2010	100%	7%	19%	0%	3%	6%	41%	14%
2015	100%	6%	18%	0%	2%	6%	45%	18%

Fonte: Elaboração própria com dados de UNITED NATIONS (2017).

A Tabela 4.3 também nos permite transcender a análise dessas 4 economias para o comércio internacional mundial. A primeira conclusão é que a economia mundial não está se desindustrializando, pois o peso da indústria mundial no PIB mundial tem se mantido praticamente constante em 24-22% desde 1970 (parte superior da Tabela). O que se confirma é que esses países em descasamento são do conjunto de países que estão se desindustrializando, enquanto outro grupo de países asiáticos, especialmente China, está assumindo esse papel na economia internacional. A Figura 4.10 ratifica estas conclusões e indica que uma porcentagem quase constante de 14% da população mundial é empregada pela manufatura de 1970 a 2010. Não obstante, enquanto os trabalhadores chineses representavam apenas 2% da população mundial empregada na indústria em 1970, em 2010 sua participação tinha subido para 6-7% do total mundial. Em contrapartida, cada vez se empregam menos trabalhadores para a indústria localizada na América do Norte e Europa.

Figura 4.10 – Peso do emprego na manufatura no mundo por regiões. Período 1970-2010.

Fonte: FELIPE e MEHTA (2016, p. 119).

Neste sentido, não é surpreendente que as emissões de CO₂ e o uso de energia estabilizem-se e/ou diminuam em muitas economias desenvolvidas da Europa e América do Norte, enquanto os registros para a economia global continuam aumentando lideradas pela indústria asiática e especialmente chinesa. O paradoxo é que parte expressiva da produção industrial chinesa e asiática vai destinada às exportações, ao mercado internacional, especialmente depois que a China entrou na Organização Mundial do Comércio em 2001. A Tabela 4.4 informa que o valor das importações da China para EUA e para oito economias desenvolvidas cresceram 1.156% e 832%, respectivamente entre 1991 e 2007. Neste mesmo período o valor das exportações de China para EUA e as mesmas oito economias desenvolvidas aumentaram apenas 456% e 639%, respectivamente. Logo, a China está fornecendo cada vez mais mercadorias demandadas e consumidas pelos países da OECD.

Tabela 4.4 – Comércio entre China, EUA e o resto do mundo.

	I. Comércio com China (bilhões de 2007 US\$)		II. Importações de outros países (bilhões de 2007 US\$)		
	Importações de China	Importações para China	Importações de outras economias de baixa renda ²⁹	Importações de México/CAFTA ³⁰	Importações do resto do mundo ³¹
<i>Painel A. Estados Unidos</i>					
1991/1992	26,3	10,3	7,7	38,5	322,4
2000	121,6	23	22,8	151,6	650
2007	330	57,4	45,4	183	763,1
Crescimento 1991-2007	1156%	456%	491%	375%	137%
<i>Painel B. Outras oito economias desenvolvidas³²</i>					
1991/1992	28,2	26,6	9,2	2,8	723,6
2000	94,3	68,2	13,7	5,3	822,6
2007	262,8	196,9	31	11,6	1329,9
Crescimento 1991-2007	832%	639%	236%	316%	84%

Fonte: Tradução nossa, tabela elaborada por AUTOR, DORN e HANSON (2013, p. 2131).

Neste ponto é fundamental dizer que tanto as séries temporais de emissões de CO₂ per capita como o uso de energia per capita extraídas do Banco Mundial e analisadas neste trabalho, **não incluem as importações de energia e emissões embutidas nas mercadorias que entram no circuito do comércio internacional**. Isto é, as emissões da China e o uso de energia na indústria chinesa para produzir uma mercadoria exportada e consumida nos EUA são contabilizadas nos registros da China e não dos EUA (Cf. PETERS; HERTWICH, 2008 para uma explicação mais detalhada). A pergunta que surge é: se estariam descasando as 4 economias analisadas neste capítulo se fossem incluídos nos seus registros as emissões de CO₂ e a energia embutida nas mercadorias que importam da China (com uma matriz energética baseada em carvão mineral)?

Para responder esta pergunta seria necessário incluir nas séries temporais usadas neste trabalho a energia e as emissões das mercadorias importadas e descontar a energia e emissões das mercadorias exportadas, para então refazer os testes de tendência de Spearman para saber se as tendências decrescentes das séries se mantêm. Esta análise é parte de uma pesquisa em estado inicial em andamento e ainda não se tem resultados. Por enquanto, basta informar que pesquisas sobre o impacto do comércio nas emissões e uso de energia são numerosas e apontam uma conclusão clara: **Estados Unidos e Europa são importadores e consumidores**

²⁹ Países classificados como de baixa renda pelo Banco Mundial em 1989, exceto China.

³⁰ Importações de México, América Central e o Caribe dentro do acordo comercial CAFTA-DR.

³¹ Resto de países do mundo (principalmente economias desenvolvidas).

³² Austrália, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Japão, Nova Zelândia, Espanha e Suíça.

líquidos de energia e emissões de CO₂ embutidas em mercadorias produzidas em outras regiões de mundo, especialmente China (Tabela 4.5). Portanto, a hipótese de que não há um descasamento forte entre crescimento econômico, emissões de CO₂ e energia quando incluirmos a energia e emissões embutidas no comércio internacional em nenhuma economia do planeta, ganha força. No entanto, vale lembrar que a maior dificuldade pela natureza termodinâmica do processo econômico, é descascar energia e não emissões de CO₂³³.

Tabela 4.5 – Autores concluindo que EUA, Europa ou países europeus como importadores líquidos de energia e emissões de CO₂ embutidas.

Energia	CO ₂
BORTOLAMEDI, 2015; CHEN et al., 2018; CHEN; CHEN, 2011; GASIM, 2015; MOREAU; VUILLE, 2018; TANG; SNOWDEN; HÖÖK, 2013; WU; CHEN, 2017, 2018	ANDERSSON, 2018; ARCE; LÓPEZ; GUAN, 2016; CALDEIRA; DAVIS, 2011; DAVIS; PETERS; CALDEIRA, 2011; DU et al., 2011; GUAN et al., 2009; GUO; ZHANG; MENG, 2012; MUNKSGAARD et al., 2005; MUNKSGAARD; PEDERSEN, 2001; PAN; PHILLIPS; CHEN, 2008; PETERS et al., 2009, 2011; TANG et al., 2017; WEBER et al., 2008

Fonte: Elaboração própria.

De qualquer maneira, o fenômeno do “*Made in China*” é determinante em todos os aspectos da política climática, energética, social e geopolítica global, com alguns impactos usualmente negligenciados. De acordo com AUTOR, DORN E HANSON (2013, p. 2159, tradução livre) em EUA

[...] A exposição à concorrência com a importação chinesa afeta os mercados de trabalho locais, não apenas no emprego do setor de manufatura, o que, de forma nada surpreendente, é afetado negativamente, mas também em muitas outras áreas. Os choques de importação desencadearam uma diminuição dos salários, que é observada principalmente fora do setor de manufatura. As reduções nos níveis de emprego e de salários levaram a uma queda acentuada na renda média das famílias. Essas mudanças contribuem para o aumento dos pagamentos de transferência através de múltiplos programas federais e estaduais, revelando um aspecto importante do ajuste ao comércio que a literatura em grande parte tem ignorado.

³³ As emissões, por exemplo, se capturam e armazenam, enquanto a energia que se transforma vira trabalho uma parte e entropia outra parte, que se perde no universo.

O impacto no emprego no setor da manufatura e no emprego geral não é homogêneo: a exposição às importações chinesas impacta com maior força os trabalhadores menos qualificados dos Estados Unidos (sem grau universitário) porque possivelmente “o declínio na indústria de manufatura diminui a demanda de serviços não-transacionáveis, que são tipicamente fornecidos por trabalhadores com pouca qualificação, como transporte, construção e comércio varejista” (Ibid, p. 2145-2146). Não é surpreendente, portanto, que as perdas de emprego no setor industrial, a difícil realocação desses empregos perdidos e o aumento do desemprego geral em áreas com desindustrialização propiciem um ambiente ideal para o aumento no consumo de drogas (MCLEAN, 2016)³⁴.

Além do mais, os resultados do comércio internacional estadunidense com o resto do mundo influenciam diretamente as eleições presidenciais (JENSEN; QUINN; WEYMOUTH, 2017). Quanto maior é o grau de exposição de uma região às importações, especialmente, chinesas, maior é a tendência a escolher políticos republicanos, incluindo o atual presidente Donald Trump (AUTOR et al., 2017), que recentemente saiu do acordo de Paris. A necessidade de dar resposta econômica para seus votantes é uma das razões pela qual o presidente Trump anunciou no dia primeiro de fevereiro de 2018 um imposto sobre o alumínio e o aço importado. De acordo com DIAMOND (2018), o presidente Trump declarou durante o anúncio para os empresários da indústria de alumínio e aço “Vocês vão ter que reconstruir suas indústrias. Se trata de um tempo onde o nosso país não consegue fazer alumínio e aço...”.

Se a política de impostos às importações de aço e alumínio é aplicada efetivamente, as importações de aço e alumínio tenderão a diminuir e a produção doméstica estadunidense a aumentar. Em termos energéticos, isto significará que duas mercadorias altamente intensivas em energia e usualmente também em emissões serão produzidas em território estadunidense e a demanda de energia e das emissões de CO₂ associadas tenderão a aumentar nesse país e diminuir nos países outrora exportadores. O maior exportador de alumínio e aço para Estados Unidos é o Canadá (VOA, 2018). A Tabela 4.6 mostra que em 2014, 67% da energia elétrica gerada nos Estados Unidos era produzida com combustíveis fósseis, enquanto só 20% da eletricidade canadense foi produzida usando combustíveis fósseis. Portanto, *ceteris paribus*,

³⁴ O consumo de opioides foi declarado uma emergência nacional de saúde pública pelo presidente Trump nos Estados Unidos (MERICA, 2017).

uma potencial substituição de importações por produção local nos Estados Unidos terá como resultado um incremento das emissões globais de CO₂ na atmosfera³⁵.

Tabela 4.6 – Geração de eletricidade por tipo de tecnologia em Estados Unidos e Canadá. Ano 2014.

Tipo	EUA (%)	Canadá (%)
Nuclear	19	16
Hidroelétrica	6	60
Outras renováveis	7	5
Fósseis	67	20
Total	100	100

Fonte: Elaboração própria com dados de EIA (2017).

Há atualmente uma situação paradoxal para EUA e para o mundo: o descasamento energético e de emissões dos EUA é alentador em matéria ambiental, mas está associado a um processo de desindustrialização com um conjunto de impactos socioeconômicos negativos. Esse conjunto de impactos negativos contribuíram para a emergência do presidente Trump nos Estados Unidos: com a promessa de reverter os impactos negativos o presidente promove políticas expansivas e protecionistas da indústria local (intensiva em energia e emissões) e sai do acordo de Paris em 2015 (desalentador em matéria ambiental). Isto mostra as tensões que coexistem entre interesses socioeconômicos e políticos locais, regionais e globais e os interesses climáticos e ambientais. Se não há no futuro uma potente revolução tecnológica que acelere de forma sem precedente, a saída dos combustíveis fósseis da matriz energética mundial e transforme a economia atual em uma economia sustentável, o rumo da transição energética global e o desenvolvimento sustentável estará determinado pelo resultado dessas tensões.

Finalmente, é importante dizer que as tecnologias da informação e do conhecimento (TICs), além de acelerar a análise de informação e expandir o armazenamento de informação, promovem mudanças na temporalidade e espaço do trabalho (uso massivo de correio eletrônico, Whatsapp, Skype, etc.), e também favorecem a automação da indústria manufatureira. Para KANDER, MALANIMA e WARDE (2013, p. 329) a automação da indústria manufatureira na base dos semicondutores tem conservado energia e materiais nas indústrias tradicionais. Investimentos em tecnologias da informação e do conhecimento na

³⁵ Esta conclusão é válida para o Brasil, que é o segundo maior exportador de aço para Estados Unidos (VOA, 2018) e gera a maior parte de sua eletricidade com hidroelétricas. É claro que para uma análise mais rigorosa se deverá examinar o ciclo de vida do aço e alumínio por país.

indústria podem, em tese, reduzir significativamente a demanda de energia dos Estados Unidos, se adequadas políticas de investimentos forem levadas adiante (SKIP LAITNER, 2010).

É difícil saber o grau de responsabilidade que as tecnologias da informação e do conhecimento e a automação têm na apropriação social da energia. Por exemplo, um estudo recente para as economias da OECD reporta que as TICs (celulares e uso de internet) têm um impacto no aumento no consumo de energia elétrica (SALAHUDDIN; ALAM, 2016). Isto parece intuitivo sabendo que as TICs não podem funcionar sem energia elétrica, mas o que é realmente importante discutir é se esta terceira fase da revolução industrial têm um impacto mais do lado da conservação de energia e matéria ou do lado da expansão no uso de energia e matéria. Sabemos que na primeira e segunda fase revolução industrial (máquinas a vapor, motores a combustão interna, petróleo, gás, eletricidade, etc.) o impacto foi sem dúvida expansivo, mas esta terceira fase parece se ajustar mais do lado da conservação de energia e matéria (Cf. Kander, Malanima e Warde, 2013, p. 328-331).

5. DOMINÂNCIA FÓSSIL: LIMITES E POSSIBILIDADES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Mesmo com o crescimento exponencial da capacidade instalada das energias renováveis mostrado no capítulo 2, o peso das energias renováveis na matriz energética mundial ainda é ínfimo. Excluindo a energia hidrelétrica, o consumo primário de energia vindo de energias renováveis representou em 2016 **apenas 3,2% do consumo primário de energia no mundo** (BP, 2017). A Figura 5.1 mostra que (a) o petróleo passou de $\approx 50\%$ do consumo global de energia em 1970 a $\approx 35\%$ em 2016, mas continua sendo o combustível dominante no planeta (b) o carvão mineral tem mantido uma participação relativamente estável em torno de 25-30% (c) **o gás natural** vem assumindo esse espaço perdido pelo petróleo e se perfila como o combustível hegemônico do futuro (RAO, 2015, p. 149).

Figura 5.1 – Consumo de energia global primário (%). Período 1965-2016.

Fonte: BP (2017).

Os dados do Banco Mundial organizados por grupos de países por tipos de renda (alta, média alta, média, média baixa e baixa) nos permitem corroborar as dificuldades para destronar os combustíveis fósseis da matriz energética mundial. A Figura 5.2 apresenta o peso da energia nuclear e alternativas, ou chamadas de energias ‘limpas’³⁶, no uso de energia total no mundo. A partir do primeiro choque do petróleo em 1970 as energias ‘limpas’ aumentam de 2% no

³⁶ Segundo a definição oficial no site de indicadores do Banco Mundial “A energia limpa é energia que não vem de hidrocarbonetos cuja geração não produz dióxido de carbono. Inclui energia hidrelétrica e nuclear, geotérmica e solar, entre outros”. (THE WORLD BANK, 2017, tradução nossa). Não obstante, é recomendável ter uma avaliação crítica a respeito das tecnologias de ‘energias limpas’, já que dependem de combustíveis fósseis para sua produção e transporte.

uso total para 10% em 1990. Porém, se sabemos que o boom renovável se dá no decorrer deste século, sabemos também que esse crescimento de 1970-1990 das energias ‘limpas’ é devido, fundamentalmente, à *expansão da energia nuclear e da hidroeletricidade*.

Figura 5.2 – Participação da energia nuclear + alternativa na matriz energética mundial por grupos de renda. Período 1960-2014.

Fonte: THE WORLD BANK (2017).

O período entre 1990 e 2012 é marcado por uma **estagnação no peso das energias ‘limpas’ em torno de 8-10%** (Cf. SMIL, 2014, p. 54). Inclusive, um olhar detalhado nos indica que a participação das energias ‘limpas’ é crescente entre 1990 a 2000 (atingindo um pico histórico de 9,9% em 2001), mas quando a expansão massiva de renováveis nos indicaria que a tendência crescente ia se a consolidar e acentuar, desde 2001 há uma *tendência decrescente com uma leve recuperação em 2013 e 2014, que nos coloca no mesmo patamar que em 1990* (Figura 5.3). A razão fundamental da estagnação das energias limpas é a queda na geração de nuclear no mundo a partir do ano 2000 (Figura 5.4).

Figura 5.3 – Peso da energia nuclear + alternativa na matriz energética mundial. Período 1990-2014. Foi adicionada uma tendência polinomial para capturar as inflexões.

Fonte: THE WORLD BANK (2017).

Figura 5.4 – Participação da energia nuclear na produção de eletricidade em França, Reino Unido, Estados Unidos, Japão e no Mundo. Período 1960 – 2015.

Fonte: ROSER e RITCHIE (2018).

Até a data de conclusão deste trabalho, não havia dados estatísticos atualizados do Banco Mundial para os anos posteriores a 2014, mas supondo que a partir de 2015 o peso do uso de energia livre de emissões aumentou a 10% na matriz energética global, seria preciso um *crescimento anual linear de 1,06% anual até 2100 para descarbonizar 100% da matriz energética mundial* (Figura 5.5). O aumento máximo interanual registrado no mundo entre

1960 e 2014 foi de 0,8% entre 1984 a 1985 e a média de crescimento interanual entre 1992-2014³⁷ foi de -0,007%! De acordo com CALDEIRA, JAIN e HOFFERT (2003, p. 2053)

[...] Para estabilizar o aquecimento em 2° C precisamos instalar $\approx 900 \pm 500$ MW de capacidade de geração de energia sem emissões de carbono todos os dias nos próximos 50 anos. Isto é aproximadamente o equivalente a uma grande usina de energia livre de emissões de carbono tornando-se funcional em algum lugar do mundo todos os dias.

É muito provável que assistamos um aumento do peso das energias livre de emissões no uso de energia global no período 2015-2017. Ainda não sabemos a magnitude desse aumento, nem se esse aumento será impulsionado pela energia nuclear, hidrelétrica e/ou as outras renováveis. O que é importante resgatar deste exercício meramente ilustrativo sem pretensões de previsão, e das estimativas de CALDEIRA, JAIN E HOFFERT (2003), são os significativos desafios e saltos que são necessários em matéria energética para estabilizar as concentrações atmosféricas de CO₂ a níveis aceitáveis no futuro (PIELKE et al., 2008).

Figura 5.5 – Peso da energia nuclear + alternativa. Projeção linear 2015-2100 para atingir 100% da matriz energética mundial.

Fonte: THE WORLD BANK (2017) até 2014 e projeção linear de 2015-2100 com uma taxa de crescimento ajustada para chegar a 100% no uso de energia em 2100.

5.1. Transições energéticas na história: processos de muito longo prazo

Embora o avanço das tecnologias renováveis pareça lento em função da urgência com que entendemos que devemos atuar para enfrentar as mudanças climáticas, é importante destacar que as transições energéticas globais ao longo da história costumam ser processo de muito longo prazo e não revoluções abruptas (FOUQUET, 2010, 2016; FOUQUET; PEARSON, 1998; GRUBLER; WILSON; NEMET, 2016; MARTÍNEZ ARRANZ, 2017; O'CONNOR;

³⁷ Em 1992 é realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento no Rio de Janeiro com uma presença expressiva de chefes de Estado do Mundo. Pode ser considerado o início da era da diplomacia climática global.

CLEVELAND, 2014). A espécie humana se consolidou queimando biomassa vegetal (lenha principalmente) desde aproximadamente 0.5-1 milhão de anos atrás. E foi apenas 6.000 anos A.C que se registra um uso sistemático de carvão vegetal em culturas neolíticas do Oriente Médio para fins metalúrgicos e se supera a ‘idade da pedra’.

A biomassa vegetal (lenha e carvão vegetal) continuou sendo o principal combustível para a humanidade até 1860, quando o carvão mineral se posicionou em 50% da matriz energética mundial e se consolida a era dos combustíveis fósseis com o petróleo, o gás natural e a eletricidade no século XX. Depois de quase 1 milhão de anos, atualmente, 2,9 bilhões de pessoas ($\approx 39\%$ da população mundial) ainda dependem de combustíveis sólidos (lenha, carvão vegetal, esterco animal e resíduo vegetal) para cocção de alimentos (GEORGE, 2015) e 15% da população mundial ainda não tem acesso à energia elétrica (THE WORLD BANK, 2017).

Em resposta a um reconhecido artigo de JACOBSON e DELUCCHI (2009) onde propunham um plano para transformar a totalidade do sistema energético global para 2030, SMIL (2014) alerta que as transições energéticas na história recente (1840 – até hoje) levaram de 4-5 décadas para serem atingidas. O carvão mineral passou de 5% na matriz energética mundial em 1840 a 50% até o ano 1900 (50-60 anos); o petróleo que em 1915 representava 5% passou a 40% da matriz energética mundial até 1975 (60 anos); o gás natural representava 5% em 1930 e demorou até 1990 para atingir 25% da matriz energética mundial. Em 2012 as energias renováveis “modernas” ainda não atingiam 4% da matriz energética mundial e em 2016 não superaram os 3,6% (novamente um reflexo da relativa estagnação) (Figura 5.31).

Figura 5.6 – Porcentagens na oferta mundial de energia do carvão, petróleo, gás natural e renováveis modernas.
Período 1840-2012.

Fonte: SMIL (2014)

Se assumirmos que os padrões temporais das transições energéticas do passado recente se repetirão no futuro, seria até 2076 aproximadamente que as renováveis não tradicionais atingiriam 50% da matriz energética mundial. O tempo requerido para as transições passadas é uma referência histórica importante, **mas é claro que a tendência não pode ser extrapolada para o futuro** (SOVACOO, 2016). O aquecimento global de origem antropogênico não foi a primeira mudança climática abrupta a colocar em xeque o processo civilizador (DA VEIGA, 2017). Não obstante, nunca na história da humanidade houve uma preocupação global generalizada para frear mudanças climáticas e tecnologias disponíveis para fazê-lo. Os avanços atuais e futuros em todos os ramos da tecnologia como as tecnologias de informação e o conhecimento, especialmente o papel da “internet das coisas” (Cf. ZHOU; YANG; SHAO, 2016), os *smarthphones*, melhorias na previsão da dinâmica climática de curto prazo, *Big Data analysis*, nanotecnologia, inteligência artificial, entre outros, podem ser fundamentais para a transição energética (IEA, 2017). Este cenário tecnológico otimista não invalida limitações e contradições técnicas, econômicas e sociopolíticas importantes que devem ser superadas.

5.2. Substituição entre energias renováveis e energia fóssil: EROI baixo das renováveis e materiais geologicamente escassos como limites na transição energética

É incorreto assumir uma substituição perfeita entre energias renováveis e combustíveis fósseis. O EROI (Energy-return-on-Investment) ou balanço de energia líquida disponível é o quociente entre a quantidade de energia produzida por um determinado processo de conversão

e quantidade de energia consumida por esse mesmo processo. O EROI nos diz quanta energia líquida podemos extrair de um determinado combustível. Assim, um EROI hipotético de 100:1 para o carvão nos indica que 1 unidade de energia é necessária para obter 100 unidades de energia do carvão. Quanto maior é o EROI, o retorno energético de uma fonte é maior e se o EROI é menor que 1, gastar-se-ia mais energia do que aquela que é obtida e, portanto, em termos energéticos não é conveniente explorar essa fonte deficitária.

O caso mais notório da importância de levar em conta o EROI para políticas energéticas talvez seja o dos biocombustíveis líquidos como opção para substituir os derivados de petróleo para transporte, pois são os combustíveis com menores retornos energéticos. Em média o etanol tem um balanço energético de 5 unidades de energia disponíveis para cada unidade de energia investida e o biodiesel disponibiliza apenas 2 unidades para cada unidade de energia investida (HALL; LAMBERT; BALOGH, 2014). Estes valores são muito baixos comparados com os dos combustíveis fósseis, que são 20-30 vezes maiores e têm uma densidade energética (W/m^2) milhares de vezes superior que os melhores biocombustíveis, como a cana de açúcar do Brasil (GOMIERO, 2015).

A razão fundamental desses rendimentos energéticos médios criticamente baixos dos biocombustíveis radica no caráter *altamente intensivo em uso de energia fóssil e eletricidade da agricultura moderna* (PIMENTEL; PIMENTEL, 2008). Assim, a produção do milho ou da cana de açúcar usados para biocombustíveis requerem quantidades expressivas de combustíveis fósseis para serem produzidos e transformados em combustíveis. Portanto, há sérias e fundamentadas dúvidas sobre a viabilidade técnica, econômica e social dos biocombustíveis para contribuir substancialmente na superação dos combustíveis líquidos derivados do petróleo (GIAMPIETRO; MAYUMI, 2009; HALL; LAMBERT; BALOGH, 2014; PELLETIER et al., 2011, p. 236). Adicionalmente, é preciso continuar pesquisando porque, no caso brasileiro, não há consenso de que o balanço agregado do impacto ambiental da produção de biocombustíveis seja positivo (BICALHO; BESSOU; PACCA, 2016; DE CARVALHO, 2011) e a qualidade das fontes de informação usada nas análises apresenta importantes limitações (Cf. BICALHO et al., 2017 para o caso do óleo de palma).

Embora o EROI dos combustíveis fósseis esteja diminuindo ao longo das últimas décadas, o que indica que se requer cada vez mais energia para produzir uma unidade de energia a partir dos fósseis, os resultados das estimações de EROIs de tecnologias renováveis tem mostrado que em termos gerais estas tecnologias ainda *não produzem tanta energia líquida quanto as energias fósseis costumam produzir* (COURT; FIZINE, 2017; HALL; LAMBERT;

BALOGH, 2014). Adicionalmente, a intermitência é um assunto que ainda permanece sem ser resolvido e as tecnologias atuais de armazenamento acostumam ser caras (LAZARD, 2015) e são fundamentais para pensar um sistema energético mundial 100% renovável.

Um painel de 200 Wp de silício policristalino produzido na China demanda 2.522 MJ, energia proveniente na sua maioria de combustíveis fósseis, pois a matriz energética chinesa é ainda altamente dependente de combustíveis fósseis, especialmente carvão (FU; LIU; YUAN, 2015). Em debate recente de cunho metodológico no periódico *Energy Policy*, FERRONI e HOPKIRK (2016) indicam que a tecnologia fotovoltaica tem um *EROI menor que 1* para regiões com *moderada irradiação solar no norte de Europa* (Suíça e Alemanha principalmente) e declaram que “tem ficado claro que energia solar fotovoltaica não ajudará de forma nenhuma a substituir combustíveis fósseis [nessas regiões]”. RAUGEI et al. (2017) questionam as premissas e resultados anteriores e estimam um EROI de 7-10 para Suíça, e assinalam as limitações das estimações do EROI e as precauções necessárias que devem ser levadas em conta quando de política energética se trata. FERRONI, GUEKOS, HOPKIRK (2017) confirmam as conclusões da sua pesquisa inicial publicada em 2016 e declaram que “qualquer tentativa de adotar uma estratégia de transição energética substituindo geração de energia elétrica de base com fontes intermitentes em países como Suíça ou demais países do norte da Europa vai resultar inevitavelmente em perdas líquidas de energia”.

SOLÉ et al. (2018) aumentam a escala de análise e estimam que os requerimentos energéticos totais para montar e dar manutenção a um sistema energético mundial 100% renovável são de 160,5 bilhões de barris de petróleo equivalente. Transformando a um fluxo diário a um período de 25 anos, 17,6 Mboe diários seriam requeridos ou 22% da energia líquida fornecida por hidrocarbonetos líquidos em 2015. Estas estimativas e os debates que suscitam podem ser entendidos qualitativamente de forma simples: é preciso uma quantidade expressiva de capital, recursos humanos, materiais e energia (muitas vezes vinda de combustíveis fósseis) para transcender os combustíveis fósseis³⁸.

Neste sentido, outro ponto importante é que tecnologias renováveis requerem numerosos metais, alguns geologicamente raros, para sua construção e implementação em grande escala.

³⁸ NEUMEYER E GOLDSTON (2016) simulam um dos cenários de produção mundial de eletricidade renovável mais agressivos do Quinto Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas: o chamado “EMF27-450-Full_Tech”. Neste cenário a fração de fontes intermitentes é $\approx 50\%$ para 2100 (solar e eólica). A conclusão geral da pesquisa coincide com que a energia necessária para colocar em funcionamento e operar a infraestrutura pode ser significativa, especialmente em altas taxas de expansão, e não foi incluída explicitamente na avaliação geral do cenário do IPCC.

Em caso de uma transição energética acelerada para uma matriz 100% renovável seria necessário um incremento substancial na produção desses minerais, podendo haver problemas de fornecimento e/ou preços crescentes em função da concorrência com os outros setores econômicos, o que poderia afetar a produção e exercer alguma pressão crescente dos preços das tecnologias (GARCÍA-OLIVARES et al., 2012), afetando sua competitividade frente às fontes tradicionais. Adicionalmente, o aumento das atividades de mineração muito provavelmente acarretaria impactos ambientais negativos derivados.

Assim, ainda que o fluxo de energia renovável disponível no planeta é de uma ordem de grandeza muitas vezes superior aos requerimentos atuais e futuros, devemos ficar alertas ante a possibilidade que a composição material das tecnologias e infraestruturas para as tecnologias renováveis estabeleçam uma restrição física de longo prazo na sua utilização (GARCÍA-OLIVARES et al., 2012). É claro que esta restrição está condicionada a possibilidade de substituir esses minerais por outros materiais.

Para encerrar esta seção, é importante assinalar que o debate sobre o EROI como um indicador crucial na transição energética está aberto. As críticas sobre o EROI incluem a observação que tecnologias de armazenamento de energia como as baterias teriam um EROI negativo, mas isso não significa que essas tecnologias não são e não serão importantes para os sistemas energéticos. Pelo contrário, tudo indica que as tecnologias de armazenamento de energia serão muito importantes para atender a inserção de fontes intermitentes e para o transporte. Isto tem motivado a elaboração de um novo indicador chamado de *ESOI_e*, definido como a razão entre a energia elétrica armazenada durante a vida útil de um dispositivo de armazenamento e a quantidade de energia elétrica incorporada necessária para construir o dispositivo (BARNHART et al., 2013, p. 2806). Outra crítica é que o determinante para uma tecnologia é o custo e o preço, não é o EROI (Cf. HALL, 2017 para um resumo do debate). O que deve ser claramente estabelecido é que o EROI é um dos indicadores importantes na política energética da transição e que a transição para uma matriz energética renovável não é um assunto de simples substituição, pois não há uma relação de substituição perfeita entre fontes energéticas com um elevado balanço de energia líquida disponível como os fósseis e as renováveis com balanços relativamente baixos (HEUN; DE WIT, 2012).

5.3. Esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a revolução do shale oil e shale gas

Uma das razões evidentes pela qual em algum momento futuro a humanidade deverá superar os fósseis compulsoriamente é a natureza finita das reservas, seu caráter não renovável. O que

não é trivial é determinar quando acontecerá este esgotamento. Inspirados no trabalho seminal de HUBBERT (1956) sobre o pico da produção de petróleo, pesquisadores têm estimado várias datas para o pico do petróleo, incluindo várias que afirmam que ***o pico de produção máximo de petróleo foi atingido recentemente*** (CHAPMAN, 2014, p. 94, Tabela 1) e já estaríamos em um período de decrescimento da produção global de petróleo, e outras que afirmam o pico ainda não chegou, mas que estamos próximos a chegar ao pico e a inflexão nas próximas décadas (CHAPMAN, 2014, p. 94, Tabela 2). Dada a dependência da economia global dos fósseis (especialmente do petróleo), uma potencial escassez física no decorrer deste século provavelmente teria um impacto econômico e social negativo, principalmente para países em desenvolvimento (LAMBERT et al., 2014), e seria um argumento forte para uma redução no consumo de energia e uma transição energética.

Quando a urgência por prestar atenção a uma produção decrescente de petróleo aumentava dia a dia, a produção do petróleo e gás não convencional, especialmente o *shale oil*, *tight oil* e o *shale gas*, têm suprido o declínio progressivo da produção convencional e parece ter reduzido a intensidade do debate do esgotamento dos combustíveis fósseis. A tecnologia do *shale* não é nova, está em curso há 30 anos, e a discussão das reservas de *shale oil* no mundo é discutida desde o trabalho seminal de HUBBERT (1956, p.19), sendo considerada desde essa época como parte integral da política energética e de segurança nacional estadunidense de longo prazo (LINCOLN, 1954, p. 241). Contudo, como no caso das renováveis modernas, teve oportunidade de expansão com a escalada dos preços do petróleo a partir de 2005 (SAUER, 2016, p. 314) que abriu oportunidade de mercado para petróleos com preços mais elevados de produção.

Embora em 2011 a Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP subestimava o impacto da produção do *shale oil*, rapidamente no ano seguinte reconhecia que o “*shale oil* representa uma grande mudança no panorama da oferta” (AL-NAIMI, 2016, p. 279, tradução nossa). A emergência do *shale gas* e do *shale oil* teve um impacto tão importante que é considerada como uma *revolução energética no campo da energia fóssil* na matriz energética dos EUA e na indústria mundial de petróleo e do gás (EIA, 2012); expandindo a oferta mundial de hidrocarbonetos e recolocando os Estados Unidos como grande produtor mundial e possivelmente autossuficiente em gás natural pelos próximos 100 anos (RAO, 2015, p. xiii).

A recente expansão do *shale oil* e *shale gas* não invalida que o petróleo é um recurso finito não renovável e que por fim será esgotado, mas nos alerta de como avanços tecnológicos podem desmontar catastrofismos de curto e médio prazos. Há consenso geral em que os

hidrocarbonetos não convencionais têm um retorno energético menor que os recursos convencionais (BRANDT et al., 2015, p. 2), incluindo estimações criticamente baixas de um retorno energético de 1:1 no caso do *shale oil* no Colorado, EUA (HALL, 2017, p. 638). Porém, a revolução do *shale* provavelmente deslocou o pico do petróleo décadas no futuro e compensará parcialmente um declínio na produção convencional (MOHR et al., 2015).

O fato claro é que a produção média anual de petróleo nos EUA cresceu de 5,5 milhões barris/dia em 2010 a 9,3 milhões barris/dia em 2017 (crescimento de $\approx 100\%$) com projeções de chegar a quase 11 milhões por dia em 2019 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2018a). No caso do gás natural a produção passou de 61,3 bilhões de pé cúbicos/dia em 2010 a 77,9 bilhões de pé cúbicos/dia em 2016 com projeções de chegar a quase 90 bilhões de pé cúbicos/dia em 2019 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2018b). Depois de 60 anos, EUA é exportador líquido de gás natural (MALIK, 2018).

Assim, a chamada revolução do *shale*, que especialistas em energia avaliavam com ceticismo em 2013 (GOLDEMBERG, 2013) e que o próprio Alexei Miller (CEO de Gazprom) definiu como uma “uma bola de sabão que explodirá em breve” (RT, 2013), está reposicionando a economia mais poderosa do planeta, com maior responsabilidade nas mudanças climáticas e historicamente altamente dependente de uma quantia expressiva de combustíveis fósseis importados, em uma potência produtora de combustíveis fósseis capaz de olhar com otimismo a possibilidade de assumir o controle da sua política energética nacional e de se converter, em palavras do atual Secretário do Interior dos Estados Unidos, Ryan Zinke, “na mais forte superpotência energética que o mundo conheceu” (ZINKE, 2017). Embora a política energética da administração Obama com regulações ambientais tenham afetado a indústria do carvão mineral e é responsabilizada pela administração Trump como vitimadora do setor energético e do povo estadunidense (SCHNEIDER; PEEPLES, 2018), a tentativa de influir diretamente na política energética global não é um fenômeno recente. De fato, é isto o que o governo estadunidense tem procurado a respeito do *shale* desde 2011 (OFFICE OF THE WHITE HOUSE, 2011) e parece estar conseguindo.

Tendo a exploração de hidrocarbonetos em território dos EUA uma importância expressiva na geopolítica mundial e, somado a isto, o renovado interesse do atual presidente Donald Trump por revitalizar a indústria do carvão, é provável que uma transição energética acelerada 100% renovável não ocupe os primeiros lugares na ordem de prioridades de Washington. Isto é

importante porque sem que a transição energética seja o assunto de primeira prioridade global dificilmente se produzirão medidas que tenham um impacto significativo no médio prazo.

Um estudo recente e detalhado projetando o futuro dos combustíveis fósseis no mundo, estima que o pico dos fósseis poderia chegar na próxima década, mas não há indícios de esgotamento total de combustíveis fósseis neste século **em nenhum dos cenários de últimas reservas recuperáveis examinados** (alto, baixo e médio) (MOHR et al., 2015). A Figura 5.7 mostra as previsões de produção de combustíveis fósseis por região e por tipo de combustível no cenário médio de reservas recuperáveis médio (75,7 ZJ) no mundo e estima que o esgotamento total dos combustíveis fósseis estaria acontecendo no decorrer do *século XXII* (Figura 5.7).

Figura 5.7 – Cenário de produção por continente (a) carvão mineral, (b) petróleo, (c) gás e (d) combustíveis fósseis. Os pontos negros representam a produção histórica.

Fonte: MOHR et al, 2015, p.27.

Mesmo que o petróleo se esgotasse neste século, os recursos recuperáveis globais de carvão mineral são da ordem das 4085 gigatoneladas (2565 Gt de 63% *hard coal* e 1520 Gt de 37%

lignite coal) com uma taxa de exploração de apenas 10% dos recursos totais (COURT; FIZAINÉ, 2017, p. 151). O carvão mineral continuará existindo neste século e provavelmente parte do seguinte como uma opção energética com tecnologia madura para produzir energia elétrica e também combustível líquido usando o processo Fischer-Tropsch³⁹. Para substituir o consumo de combustíveis líquidos em 2013 seriam necessárias apenas 4.544 toneladas de carvão, quer dizer, existem reservas para suprir a demanda total de combustíveis líquidos por 90 anos (RICO, 2013, p. 33).

As pesquisas e preocupações sobre cenários e impactos da escassez e esgotamento dos fósseis continuarão tendo um lugar importante nas agendas de pesquisa energética, segurança nacional e prospectiva econômica. Porém, em um mundo com restrições climáticas, isto não seria o relevante porque para manter a temperatura global abaixo da meta dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, uma proporção relevante das reservas atuais de combustíveis fósseis existentes no planeta simplesmente não deveriam ser produzidas (MCGLADE; EKINS, 2015). A era dos fósseis provavelmente não terminará por falta de fósseis, mas a urgência climática nos conduz a dirigir a análise aos determinantes da transição, ao coração do problema, que é econômico, especificamente dos custos de produção e dos preços de venda: a disputa pela renda extraída dos recursos energéticos e o papel no sistema econômico global.

5.4. A renda dos recursos energéticos e o crescimento econômico como parâmetros de controle da transição energética

O petróleo tornou-se a principal fonte de energia do século XX, fundamental para a manutenção do modo de vida urbano-industrial contemporâneo. É a fonte de energia mais flexível, a que mais facilita a produção e o consumo. Permite mover máquinas sem depender de redes estruturadas e caras. A sua apropriação social permitiu uma intensificação extraordinária da produtividade do trabalho e seu valor excedente no processo social de produção e de circulação é enorme quando comparado com o custo de produzi-lo (SAUER, 2016).

Consequentemente, para entender a dinâmica de transição energética devemos entender a dinâmica básica de produção, custos e de preços da indústria do petróleo e sua importância geopolítica e econômica. A Figura 5.8 mostra a relação dos custos de produção e as quantidades recuperáveis de combustíveis líquidos. O custo de produção de um barril equivalente de petróleo produzido nos países do Oriente Médio membros da OPEP não supera

³⁹ Processo químico para produção de combustíveis líquidos (gasolina, diesel, etc.) tipicamente derivados do refino de petróleo a partir de carvão mineral, gás natural e biomassa.

os 20 US\$. Em contrapartida, o custo dos biocombustíveis produzidos nos EUA é de US\$80-90 e US\$ 50 por barril no caso brasileiro; os custos de produção com tecnologias de transformação de gás natural para combustíveis líquidos (GTL) e carvão mineral para combustíveis líquidos (CTL) estimam-se em torno dos US\$ 70 e US\$ 100 por barril equivalente, respetivamente. Isto é, as opções para substituir o petróleo são entre **3 e 5 vezes mais caras que o petróleo**, e para que possam ser viáveis economicamente, sem necessidade de subsídios e nas condições tecnológicas atuais, a condição necessária é um preço do petróleo em torno dos US\$ 80 por barril (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013, p. 216). No caso do gás natural (Figura 5.9), o *shale gas* explorado em EUA tem um custo entre os US\$ 5 e os US\$ 25 por milhão de pés cúbicos e sua exploração é viável economicamente com preços de US\$ 3 –US\$ 4 por milhares de pés cúbicos (AGUILERA, 2014, p. 139).

Figura 5.8 - Curva de oferta de combustíveis líquidos: custos de produção no eixo vertical (US\$/barril equivalente de petróleo) e quantidades recuperáveis (bilhões de barris de petróleo equivalente).

Fonte: AGUILERA (2014)

Figura 5.9 – Curva de oferta de gás natural: custos de produção versus quantidades recuperáveis.

Fonte: AGUILERA (2014)

Assim, os custos de produção do petróleo e do gás natural não determinam o preço no mercado mundial. O custo de produção costuma ser insignificante, o que o preço reflete, no fundo, é a **renda** que os proprietários dos recursos (Estados nacionais) ou pelas companhias internacionais de petróleo que tem a posse do recurso, extraem devido ao controle de uma oferta limitada⁴⁰.

Quando a Opep foi fundada em 1960, o controle das reservas mundiais de petróleo era dominado em 85% por companhias internacionais de petróleo (IOC); 14% pela União Soviética; e apenas 1% era das empresas petrolíferas nacionais (NOC) (SAUER; RODRIGUES, 2016, p. 190). Em 2009 as empresas petrolíferas nacionais (NOC) controlam 87% das reservas⁴¹. Enquanto antes da existência da OPEP o ritmo de produção e a política de preços estava nas mãos das empresas internacionais (Shell, BP, Chevron, etc.) com vínculos diretos com os governos não produtores de petróleo, hoje a OPEP e em menor medida a Rússia, estão no comando do mercado mundial de petróleo, são agentes essenciais na economia global e a renda extraída passa a ser parte dos recursos financeiros dos governos desses países e não das companhias internacionais de petróleo.

⁴⁰ Para o grupo de estudos do Prof. Ildo Sauer, a renda do petróleo pode ser melhor compreendida usando os conceitos da teoria da renda de Marx. Tentativamente, o autor deste trabalho propõe a existência das 4 tipos de rendas no caso do petróleo: renda diferencial por diferencias naturais de produtividade (regiões com grandes reservas de petróleo de fácil produção), renda diferencial por diferencias de produtividade artificialmente obtidas (indústrias petrolíferas com elevado padrão tecnológico), renda absoluta (monopólio dos proprietários sobre determinadas áreas do globo) e a renda de monopólio (petróleos com 'qualidades' diferenciadas). Trata-se de nada mais do que uma possível configuração entre outras. Ver SUÁREZ (2012) para uma análise empírica interessante da renda petrolífera brasileira resgatando a teoria da renda de Marx.

⁴¹ 77% com acesso limitado e 10% com acesso por meio de participação.

Hoje está claro que a queda dos preços do barril do petróleo em 2014 a 40US\$- 50US\$ e do gás abaixo dos 5 US\$ por milhão de Btu tem relação com a expansão da produção de *shale oil* e *shale gas*, em um contexto de uma demanda mundial de petróleo com um crescimento modesto, produto de um crescimento econômico mundial limitado (incluindo uma desaceleração do crescimento da economia chinesa). Estas condições puxaram os preços mundiais do petróleo para baixo e ante a impossibilidade de um acordo entre países da OPEP e outros países exportadores de petróleo para reduzir os volumes de produção, os preços têm se mantido relativamente baixos até hoje (AL-NAIMI, 2016, p. 277–289).

Esta situação tem duas caras na mesma moeda. A primeira, e mais óbvia, é que preços baixos impactam diretamente o desempenho das finanças dos países exportadores de petróleo e gás (Cf. Venezuela, por exemplo). A segunda é que as fontes renováveis perdem ímpeto, competitividade econômica, com preços baixos dos combustíveis fósseis (RAO, 2015, p. 149). Preços baixos do petróleo e do gás reduzem diretamente os custos de operação das usinas a gás natural, especialmente as usinas de ciclo combinado, o que as consolida como as opções mais baratas para atender a carga base dos sistemas elétricos e a expansão do setor elétrico em geral. Pelo lado do setor de transporte, preços baixos dos combustíveis líquidos derivados do petróleo e do gás natural afetam a viabilidade econômica da mobilidade elétrica e dos biocombustíveis. Destarte, preços baixos dos combustíveis fósseis afetam financeiramente os países exportadores no curto prazo, mas consolidam a dominância dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial no médio prazo. Em palavras de (SAUER, 2016, p. 315) a passividade da Arábia Saudita em relação aos preços baixos pode estar vinculada a

[...] enfraquecer as finanças de países com quem mantém certa rivalidade, como o Irã, apoiado pela Rússia; gerar um ambiente de incerteza para os investimentos em óleo não convencional e, de forma contundente, os biocombustíveis, outras fontes renováveis, e, também, para a emergente alternativa da mobilidade elétrica, concorrente para reduzir a demanda por petróleo.

SINN (2008) chega a conclusões semelhantes quando explica o que ele chama de ‘paradoxo verde’: preços baixos do petróleo incentivam crescimento econômico e demanda de energia e afetam a viabilidade de opções renováveis. Assim, *a política de produção e preços do petróleo dominado pela OPEP funciona como um parâmetro de controle da inserção das renováveis* (Cf. SCOTT, 2018), e também da própria economia mundial, já que preços elevados impactam negativamente o crescimento econômico mundial e preços baixos incentivam a roda de consumo, produção e acumulação e, portanto, a demanda de energia fóssil.

Para os ideólogos da segurança nacional estadunidense de meados do século XX “o objetivo geral para os recursos energéticos é o mesmo que o declarado para os recursos naturais: **a quantidade certa, no lugar certo, no momento certo, ao menor custo**” (LINCOLN, 1954, p. 219, tradução livre, negritas nossas). Em 1977, entre o primeiro e segundo choque do petróleo, Henry Kissinger (ex-secretário de Estado norte-americano) já previa:

[...] “Os países industrializados não poderão viver de maneira como existiram até hoje, se não tiverem à sua disposição os recursos naturais não renováveis do planeta, a um preço próximo do custo de extração e transporte e, se elevados, sem perda de relação de troca pelo ajustamento correspondente nos seus produtos de exportação. Para tanto, terão os países industrializados um sistema mais requintado e eficiente de pressões e constrangimentos políticos, econômicos ou mesmos militares, garantidores da consecução dos seus intentos” (Folha de São Paulo – 29/06/1977). (Cf. PETROBRAS, 2009, p. 4)

A possibilidade que HEILBRONER (1979, p. 320) considerava em 1975 de que “uma futura fonte nova e em condições de concorrência poderia dissolver o cartel [da OPEP]” não tem chegado a se concretizar até hoje. Quase meio século depois a OPEP ainda mantém controle do mercado petroleiro e tem se mostrado talvez um dos carteis mais sólidos na história econômica moderna. O reconhecido geógrafo David Harvey intitulava o primeiro capítulo do seu livro *O novo imperialismo* (2005), *Tudo por causa do petróleo*, e afirmava que “quem controlar o Oriente Médio controlará a torneira global do petróleo, e **quem controlar a torneira global do petróleo poderá controlar a economia global**, pelo menos no futuro próximo” (HARVEY, 2005, p. 25, negritas nossas). Assim, a força da dominância e importância da indústria petroleira na economia mundial é difícil de superestimar no plano econômico, e seu alcance chega aos níveis fundacionais da estrutura e dinâmica geopolítica contemporânea e está intrinsecamente ligada com os alcances, limites, falências e sucessos dos vários sistemas políticos tanto ‘democráticos’ como ‘não democráticos’ que coexistem atualmente no mundo (Cf. MITCHELL, 2009; SILVERSTEIN, 2014).

BARKER, SCRIECIU e FOXON (2008) analisam a factibilidade de atingir a meta do G8 de reduzir 50% das emissões globais de CO₂ para 2050 usando um modelo econométrico de simulação de grande escala para economia global que inclui elementos energéticos e ambientais. Os resultados do modelo indicam que a única forma para atingir uma redução de 50% das emissões globais totais de CO₂ para 2050 *é paralisar de vez os investimentos em hidrocarbonetos* através de impostos ao carbono aplicados a toda a economia, especialmente no setor energético, que permitam atingir até 2030 um preço de US\$ 100/tCO₂. Mas isto não é suficiente, é preciso financiar simultaneamente de forma generalizada e agressiva toda a indústria renovável. Na modelagem apresentada o impacto negativo da inviabilização da

indústria petroleira no PIB mundial seria compensado pelos investimentos no setor elétrico e de renováveis, levando a um leve crescimento do PIB em comparação com o cenário base. Não é necessário ser um especialista em modelagem econométrica, teoria macroeconômica e geopolítica para compreender as enormes dificuldades que implica inviabilizar uma indústria de trilhões de dólares e da qual dependem milhões de pessoas através de uma coordenação conjunta de impostos agressivos ao carbono. Depois de uma década da publicação de BARKER, SCRIECIU e FOXON (2008) o preço máximo atingido pela tonelada de carbono foi de US\$ 22,9/tCO₂ em abril de 2011, e a média em 2017 foi de apenas US\$ 5,9/tCO₂ (INVESTING, 2018). Estes valores estão extremamente longe da meta dos US\$100/tCO₂.

Outra pesquisa recente de JEWELL et al. (2018) usando modelos de avaliação integrada (*Integrated Assessment Models* – IAMs) para a economia mundial, avalia os impactos da recente decisão dos países do G-20 em 2016 de ratificar a eliminação dos subsídios aos combustíveis fósseis (G20, 2016; IEA et al., 2011). Os resultados dos autores indicam que a remoção dos subsídios aos combustíveis fósseis no mundo (a) diminuiriam a demanda global de energia devido a um incremento dos preços; (b) teriam um impacto muito leve na estimulação das renováveis até 2030; (c) o efeito mais pronunciado seria uma substituição entre combustíveis fósseis (por exemplo, de gás natural a carvão mineral na Rússia, Índia, Oriente Médio e o Norte de África ou de carvão mineral e petróleo para gás natural na Europa) devido a um reordenamento nos méritos econômicos das fontes; (d) um aumento de preços do gás natural e o querosene podem desacelerar a substituição da lenha e o carvão vegetal entre a população mais pobre.

O caso da transição energética alemã com seu plano de política energética para uma economia com baixo carbono *Energiewende*⁴² também é importante para exemplificar as dificuldades de uma transição rápida renovável, pois, apesar de investimento na ordem de quase 500 bilhões de euros até 2015 (LIMBURG; MUELLER, 2015), Alemanha ainda importa 60% da sua energia, principalmente de combustíveis fósseis da Rússia, e a geração elétrica a base de carvão tem se mantido estável em função de atender à intermitência das renováveis (CONCA, 2017; RENN; MARSHALL, 2016). Como resultado o impacto na redução das emissões é muito limitado: registram-se emissões crescentes no período entre 2011 (761 Mt de dióxido de carbono) e 2013 (795,1 Mt); uma queda em 2014 (749,4 Mt) e crescimento em 2015 (751,1 Mt) e 2016 (760,9 Mt) (BP, 2017). Adicionalmente, os preços médios da energia elétrica aumentaram fortemente no país, em parte como produto das

⁴² Plano de política energética alemã de longo prazo para a transição para uma economia de baixas emissões.

políticas de incentivo à inserção das renováveis, o que tem provocado um intenso debate político em torno dos impactos na competitividade da economia alemã e dos efeitos sobre os consumidores (FISCHER et al., 2016). Estas dificuldades em seu conjunto colocam dúvidas razoáveis sobre a possibilidade de atingir as metas propostas pelo *Energiewende* em 2030 e 2050 (KNAUT et al., 2016).

Nas condições atuais se a economia mundial crescer vigorosamente nos próximos anos acompanhada de um crescimento da demanda mundial de energia, esse crescimento da demanda de energia será suprido, em sua maior parte, pela fonte de maior facilidade e maior confiabilidade de suprimento para ser colocada a operar no mercado, isto é, os combustíveis fósseis, especialmente o petróleo de fontes convencionais. Se pelo contrário a economia mundial se desacelera, diminui a demanda de energia e tende a exercer um efeito depressor nos preços do petróleo, o que é negativo para a inserção das renováveis. Assim, a opção das energias renováveis, dentro de uma pura lógica de mercado, para superar esse controle que exerce a política de renda e preços dos fósseis e a dinâmica de crescimento econômico, deve ser continuar reduzindo os preços das tecnologias, resolver os problemas da intermitência renovável com tecnologias de armazenamento baratas e que garantam uma gestão confiável nos sistemas elétricos. Isto aceleraria a eletrificação da economia mundial, que é sem dúvida a melhor aposta.

Ainda não se vislumbra no horizonte de curto e médio prazos uma revolução tecnológica, econômica e uma coordenação geopolítica global que supere as contradições e limitações atuais e passadas e acelere substancialmente a penetração das renováveis e permita deixar no subsolo grande parte das reservas de petróleo para não atingir os 2 °C de aumento na temperatura média acima dos níveis pré-industriais (MEINSHAUSEN et al., 2009). Seria preciso uma profunda transformação estrutural na governança global, isto é, uma reorientação e reestruturação das instituições políticas nacionais e internacionais capaz de resolver as contradições existentes em torno da descarbonização da economia global (Cf. BIERMANN et al., 2012). Esta transição energética deveria ser justa e equitativa (DE CARVALHO; MERCEDES; SAUER, 2010), transferindo recursos de parte dos países desenvolvidos (grandes responsáveis e mais ricos) para a transição energética e mitigação dos impactos climáticos nos países subdesenvolvidos (mais afetados e mais pobres) (SOVACOO; DWORKIN, 2014). O desafio de um reordenamento da geopolítica internacional com estes princípios e garantindo o cumprimento das partes é grande (YORK, 2015), e a saída dos EUA do acordo de Paris é sintomática das dificuldades.

5.5. Agricultura orgânica versus agricultura convencional: é possível alimentar a população atual e futura prescindindo dos fósseis?

O setor de alimentos (incluindo a produção de insumos, produção, processamento, comercialização e consumo) demanda 95 Exajoules anuais o que representa 30% do consumo mundial de energia e é responsável por mais de 20% das emissões totais de GHG (FAO, 2011, tradução livre). O incremento sem precedentes da produção agrícola mundial no século XX (Cf. SADOWSKI; BAER-NAWROCKA, 2018) foi devido ao uso massivo de combustíveis fósseis para a produção de fertilizantes (Ver Figura 5.10), agroquímicos sintéticos, maquinaria, sistemas de irrigação, transporte e preservação de alimentos a grandes distâncias por períodos de tempo consideráveis, entre outras atividades (GOMIERO, 2016).

O descobrimento da síntese de amônia (processo Haber-Bosch), no início do século XX desencadeou a era da agricultura industrial e a segurança alimentar mundial atual depende completamente da síntese química de fertilizantes nitrogenados, síntese que é intensiva em energia, dependente do hidrogênio do gás natural e da rocha de fosforite (THE ROYAL SOCIETY, 2009, p. 17). Portanto, *a população atual de quase 8 bilhões de pessoas simplesmente não existiria sem a introdução de combustíveis fósseis na agricultura mundial* (SMIL, 2002b).

Figura 5.10 – Índice mundial de consumo de fertilizantes, 1960-2005.

Fonte: THE ROYAL SOCIETY (2009, p.4).

As chamadas crises dos alimentos, a última em 2007-2008, estão associadas ao aumento de preços do petróleo e tem colocado novamente a problemática da fome no mundo como um tema prioritário junto às mudanças climáticas. A ignomínia da fome no mundo não é por

causa de uma insuficiente produção de alimentos, mas por uma distribuição desigual: para cada pessoa viva hoje, há 29% mais alimentos que em 1960 (THE ROYAL SOCIETY, 2009, p. 2), mas em 2016 registrou-se 815 milhões de pessoas (11% da população mundial) padecendo fome, a maioria concentrada na Ásia, África e América Latina e no Caribe (520, 243 e 42 milhões, respetivamente) (FAO, 2017). Deste modo, se aspirarmos a uma transição energética e, simultaneamente eliminar a fome para 2030, como é estabelecido nos objetivos de desenvolvimento sustentável (DA VEIGA, 2015, p. 156), os combustíveis fósseis deveriam ser substituídos na agricultura e essa agricultura sem fósseis deve ter como mínimo a capacidade de alimentar a população mundial. Neste sentido, a agricultura orgânica tem se posicionado na opinião pública e de uma parte dos cientistas como uma das possibilidades para atender este dilema. SEUFERT, RAMANKUTTY e MAYERHOFER (2017, p.14, tradução nossa) estudam as regulações vigentes de vários países, e concluem que na prática, agricultura orgânica é um sistema de gestão livre de químicos baseado na *exclusão de insumos sintéticos e dependentes de substâncias naturais*⁴³.

Não obstante, para os autores supracitados (SEUFERT; RAMANKUTTY; MAYERHOFER, 2017), na prática, o caráter orgânico da produção de alimentos é dado mais pelo uso ou não de substâncias que pela totalidade do processo integral de produção e distribuição sustentável. De fato, a agricultura orgânica pode não ser necessariamente ‘sustentável’ (LEIFELD, 2012; RIGBY; CÁCERES, 2001) ou ambientalmente ‘amigável’ (BAHLAI et al., 2010), mas em termos gerais, estudos sob agricultura orgânica têm revelado melhor desempenho que a agricultura convencional em alguns indicadores de sustentabilidade, incluindo o uso de energia e eficiência (PONISIO et al., 2014, p. 2). Embora não haja consenso científico dos benefícios ou prejuízos evitados para a saúde humana derivado do consumo de alimentos orgânicos (BARAŃSKI et al., 2014; SMITH-SPANGLER et al., 2012), há evidência científica preliminar, que reporta menores riscos para a saúde dos produtores (COSTA et al., 2014).

O crescimento recente do mercado orgânico no mundo é comandado pelos gostos e preferências de um grupo de consumidores, que estão dispostos a pagar preços mais elevados por seus alimentos assumindo benefícios para a saúde individual e familiar (SEUFERT;

⁴³ É importante não confundir agricultura orgânica com a agroecologia, que é a ciência que estuda os processos ecológicos na agricultura e não necessariamente rejeita o uso de combustíveis fósseis. Uma análise explicativa dos diversos usos do termo agroecológica é encontrada em WEZEL (2009). Adicionalmente, é importante diferenciar agricultura orgânica de agricultura familiar. A segunda pode ou não usar insumos sintéticos, incluindo combustíveis fósseis, e se caracteriza por um cultivo da terra associado a uma gestão familiar e em pequena escala.

RAMANKUTTY; MAYERHOFER, 2017). Sabemos que a agricultura orgânica apresenta menores riscos para a saúde dos produtores e possivelmente para os consumidores e, simultaneamente, prescinde dos fósseis e tem um impacto ambiental menor que a convencional (GOMIERO, 2017), mas é competitiva em relação à convencional? Estudos na América do Norte, Europa e Índia indicam que o *price premium* pago pelos consumidores permite que, mesmo com os rendimentos mais baixos da produção orgânica, a produção orgânica seja em média entre 22% e 35% mais lucrativa que a agricultura convencional (CROWDER; REGANOLD, 2015)⁴⁴.

Embora a lucratividade seja alta, apenas 0,3% das terras agrícolas no mundo eram usadas para produzir orgânicos em 2008 (CONNOR, 2008) e depois de quase uma década a porcentagem aumentou apenas a 1,1% em 2017⁴⁵, e as vendas diretas no varejo representam aproximadamente 5% das vendas totais globais, fortemente concentradas nos países com renda elevada da Europa (LERNOUD; WILLER, 2017). As barreiras que impedem a adoção da agricultura orgânica não são bem entendidas, mas insuficiente suporte técnico, falta de informação, aspectos operacionais como uma demanda de maior força de trabalho, entre outras, são alguns dos fatores determinantes encontrados na literatura (Cf. SEUFERT; RAMANKUTTY; MAYERHOFER, 2017, p. 18).

Há experiências positivas e promissórias que demonstram que a gestão orgânica pode beneficiar a população, a economia e os ecossistemas (Cf. AUERBACH; RUNDGREN; EL-HAGE SCIALABBA, 2013 para o caso africano). Porém, a grande questão em torno da viabilidade da agricultura orgânica é saber se é passível sua extensão em escala global, garantindo alimentos suficientes para uma população crescente e majoritariamente urbana a preços acessíveis. Hoje, não há consenso se efetivamente é possível alimentar quase 8 bilhões de pessoas e o crescimento populacional futuro com a agricultura orgânica. Os argumentos mais importantes neste debate são que os *rendimentos dos sistemas agrícolas orgânicos são baixos e há incerteza sobre a disponibilidade de fertilizantes orgânicos para*

⁴⁴ O *price premium* da produção orgânica pode ser um poderoso incentivo para tentar infringir os mecanismos de certificação de produtos orgânicos, especificamente em regiões com limitado controle como América Latina. Cf. ROGERS (2010) para uma pesquisa *in loco* sobre a produção e exportação de canha de açúcar orgânica no Paraguai.

⁴⁵ Assumindo um crescimento linear, de 2008 a 2017 a taxa de crescimento anual da terra destinada para agricultura orgânica foi de 0,08%. Um exercício aritmético meramente ilustrativo indica ser necessário um aumento anual de aproximadamente 1,2% de 2018 a 2100 para atingir 100% da terra agrícola mundial. Isto sugere que seria preciso acelerar substancialmente o processo se aspiramos a terminar o século atual com uma agricultura 100% orgânica.

substituir os fertilizantes inorgânicos (Cf. BADGLEY et al., 2007; CONNOR, 2008, 2013; SEUFERT; RAMANKUTTY; FOLEY, 2012).

Uma estimativa preliminar da possibilidade de Alemanha ser autossuficiente na produção de alimentos, substituindo agricultura convencional por orgânica, calcula que a agricultura orgânica poderia alimentar apenas 50% ou menos da população atual e com uma dieta de menor qualidade (provavelmente com períodos de fome no inverno) (GOMIERO, 2016). Ademais, implicaria um retorno massivo da população às atividades rurais ligadas a produção de alimentos para suprir o trabalho necessário ante a ausência de energia fóssil que seria transformada em trabalho (tratores, motores elétricos, etc.); e uma expansão da fronteira agrícola devido à necessidade de usar mais terra para compensar os rendimentos mais baixos da agricultura orgânica (Ibid, 2016).

Na verdade, sabemos pouco sobre a dinâmica socioeconômica que implica um retorno em grande escala para práticas agrícolas orgânicas. No caso dos preços dos alimentos, uma hipótese é que a volatilidade ligada as variações dos preços do petróleo desapareceria e haveriam preços dos alimentos mais estáveis. Porém, não sabemos, por exemplo, se essa estabilidade implicaria preços baixos que garantam acesso à maioria da população. Historicamente, preços elevados dos alimentos se traduzem de forma imediata em aumento da fome e em instabilidades políticas (RIEFF, 2016).

Outro ponto importante talvez seria o impacto nas relações internacionais, especificamente na divisão internacional do trabalho, porque provavelmente seria mais fácil incentivar aos países com relativo baixo grau de industrialização e com maior quantidade de terras férteis disponíveis (por exemplo, Brasil), para produzir mais alimentos orgânicos, antes que dismantelar as sociedades urbanas altamente industrializadas, e com relativamente pouca terra disponível para a agricultura. Este exercício no plano da especulação é necessário para entender que não há soluções simples.

Se há um ponto onde não há controvérsias é que o agronegócio global é fortemente oligopolizado (FAO, 2015, p. 9). Não se vislumbra no futuro imediato sinais de desintegração desses oligopólios e formação de futuros mercados competitivos. Mesmo assumindo uma hipótese de mercados competitivos dos alimentos no futuro, isto não garante que essa competitividade e, portanto, preços concorrenciais relativamente baixos, seja um incentivo para agricultura orgânica. O atrelamento atual entre o agronegócio global, energia fóssil e bioenergia é extremamente complexo, com mercados não competitivos tentando se apropriar

dos lucros disponíveis através da produção e comercialização de mercadorias que concorrem mutuamente (Cf. RICO, 2013), e são insumos e substitutos simultaneamente: energia fóssil necessária para produzir alimentos que podem ser usados para produzir biocombustíveis que pretendem substituir energia fóssil no setor transporte; transporte que é vital para transportar e efetivar o consumo de alimentos. Sendo assim, caberia perguntar: o mercado alocará as terras mais produtivas para produzir alimentos tradicionais ou orgânicos ou para produzir biocombustíveis? A complexidade se intensifica se adicionamos restrições na expansão de terra, no uso de água e segurança alimentar como metas que devem caminhar conjuntamente em um contexto de mudanças climáticas.

À luz da evidência analisada e sabendo que é preciso um incremento da produção de alimentos de 50%-100% até 2050 (THE WORLD BANK, 2008) *não parece sensato prescindir a curto e médio prazos dos combustíveis fósseis no desafio de alimentar uma população mundial crescente, apesar de que ambientalmente isso seja desejável*. É preferível focar esforços na implementação de fontes alternativas ao hidrogênio do gás natural usado na síntese Haber Bosch para produção de fertilizantes nitrogenados: por exemplo, a eletrólise usando energias renováveis (THE ROYAL SOCIETY, 2009, p. 15). Novamente, a viabilidade socioeconômica dessa e outras alternativas tecnológicas deve ser estudada.

Os desafios enfrentados pela agricultura orgânica não significam que não deva ser incentivada na agenda de políticas públicas. Porém, nas condições tecnológicas e socioeconômicas atuais é recomendável promover um conjunto de políticas como aumentar os rendimentos de produção atual, reduzir as perdas, incentivar a alteração de dietas, expandir a aquicultura e inclusive, produzir alimentos geneticamente modificados com um adequado escrutínio científico, técnico, econômico e social (GODFRAY et al., 2010). Provavelmente, a medida mais efetiva para cumprir as metas de desenvolvimento sustentável, especialmente no referente à fome e a pobreza, seria uma redução da desigualdade impulsionada por um compromisso moral e político da sociedade e dos governos em programas públicos destinados para erradicar a pobreza e a fome (Cf. VARGAS, 2016). Porém, tanto a redução expressiva da desigualdade quanto a erradicação da pobreza, são das aspirações mais difíceis de serem cumpridas nas coordenadas do capitalismo contemporâneo. O otimismo de Jeffrey Sachs quando afirma que “declarar que, até 2030, toda privação extrema - fome, extrema pobreza baseada na renda, doenças e mortes evitáveis – pode ser eliminada, é realista e profunda” (SACHS, 2012, p. 2208, tradução nossa) contrasta com um contexto econômico mundial de

crescente desigualdade mundial da riqueza nos últimos 50 anos (DORLING, 2015; PIKETTY, 2014).

5.6. Energia nuclear

Nas décadas dos anos 60 e 70 do século XX as renováveis não tradicionais e a geração distribuída não apareciam no portfólio de políticas energéticas e o aquecimento global por GEE não era uma preocupação generalizada no mundo. O que já era uma preocupação era o potencial esgotamento dos combustíveis fósseis e a necessidade de parte das economias consumidoras, especialmente EUA, de reduzir a dependência de petróleo e impulsionar a geração nuclear (HUBBERT, 1956). Foi nesse período posterior à segunda guerra mundial que a indústria de geração nuclear de eletricidade se consolidou nas economias das grandes potências econômicas da época com uma visão altamente otimista para o futuro.

Lewis L. Strauss, chefe da Comissão de Energia Atômica, declarava anos antes (1954) para a Associação Nacional de Escritores de Ciência em Nova Iorque que a eletricidade nuclear seria “barata demais para ser medida” e Glenn Seaborg, prêmio Nobel e também chefe da Agência Atômica de Energia previu em 1971 que a matriz de geração elétrica mundial seria 100% nuclear para o ano 2000 (SMIL, 2016). Em 1970, EUA já contavam com 107 usinas nucleares operando ou em processo de começar a operação (SMIL, 2010). Com os choques de petróleo da década dos 70 tudo parecia assinalar que a dominação da energia nuclear na geração elétrica mundial era iminente (ROSE, 1974).

Essas previsões altamente otimistas a respeito da tecnologia nuclear não chegaram nunca a acontecer. Atualmente, há 448 reatores nucleares operando no mundo, a maioria nos EUA, França, Japão, China e Rússia, para um total de apenas 391,5 GW de capacidade instalada (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018), o que equivale a 6% da capacidade instalada mundial em 2015. A maioria dos reatores no mundo entrou em operação décadas atrás (entre 1980-2000) e a China vem tomando a vanguarda na instalação nuclear neste século, colocando em operação mais de 50% das usinas entre 2013 e 2017 (NUCLEAR ENERGY INSTITUTE, 2017).

Se as previsões de uma matriz energética global predominantemente nuclear tivessem acontecido⁴⁶, as mudanças climáticas de origem antropogênica provavelmente não seriam um

⁴⁶ O que observamos foi a consolidação da tecnologia nuclear como um dos armamentos mais importante na corrida armamentista do séculos XX e no decorrer do século XXI.

problema tão sério quanto hoje. Porém, o mais importante das erratas dessas previsões é investigar retrospectivamente porque as previsões falharam, visando extrair valiosos ensinamentos para a descarbonização do futuro. O primeiro fator que abafou a indústria nuclear foi o aumento regular dos custos de capital das usinas nucleares. A diferença da tendência de custos decrescentes das energias renováveis, os custos de capital por kW instalado das usinas nucleares têm aumentado ao longo do tempo devido aos custos de controle de processos, regulatórios e segurança: é mais caro construir e instalar uma usina hoje que em 1970 (Figura 5.11). É a primeira vez que ganhos de escala e aprendizado são negativos.

Figura 5.11 – Custos estimados para usinas nucleares estadunidenses de 1 GW de capacidade instalada.

Fonte: (SMIL, 2010)

O segundo fator é um importante ensinamento da dinâmica econômica e sua influência nas transições energéticas: os preços elevados do petróleo e combustíveis fósseis na década dos 70 que, à primeira vista deveriam impulsionar a indústria nuclear como uma opção competitiva, também tiveram um efeito contraproducente e deprimiram a economia global, desaceleraram a demanda de energia e afetaram o desenvolvimento da indústria nuclear (SMIL, 2010). Como resultado desses dois fatores a geração nuclear nunca chegou nem perto do prometido, e com os acidentes de *Three Mile Island* em 1979, *Chernobyl* em 1986 e mais recentemente com o acidente de *Fukushima* em 2011, a reputação da tecnologia nuclear tem caído ainda mais, com ameaças de fechamento total em alguns países.

Isto não significa que atualmente a geração nuclear não seja importante e/ou que deva ser totalmente desconsiderada da matriz energética mundial. Ao contrário, tem e continuará tendo um papel em quase todas as economias fortes do planeta, especialmente os países da OECD e

nas economias emergentes como China e Índia. França, por exemplo, com uma matriz elétrica $\approx 80\%$ nuclear, anunciou o banimento dos veículos a motor a combustão interna para 2040 (THE GUARDIAN, 2017). Com uma energia elétrica produzida praticamente sem emissões e com veículos elétricos que não emitem GEE para operar, França se colocaria muito próxima de descarbonizar sua economia. Por outro lado, enquanto o governo alemão, depois do acidente de Fukushima, anunciava em 2011 (com muito apoio popular) o fechamento de 8 usinas nucleares e que limitaria a operação das usinas restantes até fechar completamente em 2022, paradoxalmente, importou 77,1 TWh da França entre 2011 a fevereiro de 2018 (FRAUNHOFER ISE, 2018).

Embora a Alemanha seja exportadora líquido de eletricidade para parte do resto de Europa (FRAUNHOFER ISE, 2018), a energia importada da França é importante para manter a estabilidade do sistema elétrico alemão, *facilitar a inserção de renováveis e tentar cumprir com as metas do Energiewende*. Assim, desligar massivamente a geração nuclear no mundo provavelmente seria contraproducente para os objetivos de reduzir emissões e inserir as renováveis, e a indústria nuclear tem desempenhando um papel importante na matriz elétrica apesar, e talvez até, pela inserção das renováveis.

Finalmente, é importante fazer uma breve menção da tecnologia de fusão nuclear. Caso seja possível resolver os problemas técnicos de controle do processo de fusão e a tecnologia possa ser usada comercialmente em um futuro, seria possível gerar enormes quantidades de eletricidade sem limitações significativas de recursos minerais, livre de emissões poluentes e resíduos radioativos, e reduzir-se-iam os ‘riscos’ de ‘proliferação’ de armas nucleares associadas à indústria nuclear (ONGENA; OGAWA, 2016). Em tese, a fusão nuclear teria uma importância grande, difícil de dimensionar, mas muito provavelmente positiva para um futuro sustentável (CABAL et al., 2017). Depois de mais de meio século de tentativas e bilhões de dólares investidos, ainda não há indícios de que possa ser implementada comercialmente em um futuro próximo e há sérias dúvidas que de possa ser uma opção energética factível e viável para atender os problemas deste século (PARKINS, 2006; SMIL, 2010).

5.7. Tecnologias de armazenamento e captura de carbono e abordagens de geoengenharia climática

É útil iniciar esta seção com um trecho de PIKETTY (2014, p. 553), referente ao papel do financiamento público para enfrentar as mudanças climáticas

[...] Seria melhor apostar tudo na pesquisa de ponta, a fim de progredir rapidamente sobre as energias renováveis, ou melhor seria impor de imediato restrições significativas ao consumo de hidrocarbonetos? Sem dúvida, seria sábio poder usar uma estratégia equilibrada que se fundamentasse e todos esses instrumentos disponíveis. Más, além do bom senso, o importante é enfatizar que ninguém até hoje conhece as respostas para esses desafios e o papel exato que o poder público desempenhará para evitar essa possível degradação do capital natural no século XXI.

Em princípio, científica e tecnologicamente falando, não é preciso transformar o sistema energético mundial a 100% renovável ou restringir totalmente o consumo de hidrocarbonetos para descarbonizar a economia. Ante o cenário provável de uma continuidade da dominância dos combustíveis fósseis na economia mundial e um crescimento futuro das emissões de CO₂ nas próximas décadas, as abordagens que visam resolver o problema diretamente, através da **remoção direta do carbono** (CDR)⁴⁷ e posterior armazenamento, são uma das alternativas consideradas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas para atender o problema climático (IPCC, 2014).

As opções para capturar e armazenar carbono são variadas e vão desde a consolidada medida ecológica de conservar, recuperar e criar florestas para armazenar na biomassa, até a proposta controversa de incrementar os volumes de fitoplâncton marinho com injeções de ferro (Fe) no oceano (ZHANG et al., 2015). Outras abordagens, já não usando a compreensão da dinâmica dos ecossistemas, mas a tecnologia disponível, pretendem capturar diretamente as emissões de dióxido de carbono derivadas da produção industrial (Cf. LEESON et al., 2017), da produção de petróleo e gás (AMINU et al., 2017, p. 1405) e da geração de eletricidade (Cf. JIN et al., 2017).

Dentre as opções tecnológicas consideradas, a captura e armazenamento de carbono gerado em usinas de geração de energia elétrica parece ser a opção mais interessante. Se as usinas a gás natural e/ou carvão com captura e armazenamento de carbono se consolidam técnica e economicamente (Cf. CHUNG; PATIÑO-ECHEVERRI; JOHNSON, 2011) e, simultaneamente, conseguem operar como sistemas híbridos com tecnologias renováveis intermitentes como a solar ou a eólica (Cf. BANDYOPADHYAY; PATIÑO-ECHEVERRI, 2016), o problema das emissões na geração de eletricidade estaria controlado e se aceleraria substancialmente a inserção de renováveis na matriz elétrica. Em outras palavras, seria uma *estratégia benéfica que criaria um vínculo de cooperação entre a indústria petroleira e a indústria das renováveis*. Ali Ibrahim Al-Naimi, ex-ministro de petróleo e recursos minerais do Reino de Arábia Saudita explica que

⁴⁷ “Carbon Dioxide Removal”.

[...] Acreditamos na veracidade da mudança climática, ponto final. Mas o problema não são os fósseis *per se*. O problema são as emissões prejudiciais de queimar carvão, petróleo e gás. A resposta não é deixar os maiores, mais abundantes e mais econômicos recursos no solo. Nosso foco particular é na captura e armazenamento de carbono (CSS). Saudi Aramco recentemente lançou o maior projeto de demonstração de pesquisa de Oriente Médio para recuperação de petróleo usando CO₂. Estamos coletando 800.000 toneladas anuais, majoritariamente de CO₂, da nossa usina Hawiyah, e transferindo-o via conduto tubular para nosso campo Uthmaniyah. Lá, estamos injetando o gás para manter a pressão no reservatório de petróleo cru.

(AL-NAIMI, 2016, p. 275–276, tradução nossa)

Com uma exploração de combustíveis fósseis com emissões mínimas e matrizes elétricas com emissões mínimas que combinem integradamente geração de eletricidade com combustíveis fósseis e fontes renováveis, o segundo passo seria a eletrificação da frota veicular mundial⁴⁸, colocando-nos à beira de descarbonizar à economia mundial. Uma usina de gás natural a ciclo combinado tem uma eficiência de aproximadamente 50%, e incluindo perdas de transmissão e distribuição de, digamos 10%, a eficiência geral da produção, transmissão e distribuição de eletricidade seria de 45%. Se assumimos uma eficiência dos veículos elétricos em 75% (FARIA et al., 2012) *a eficiência de toda a cadeia estaria em torno de 33.8%*. Em contrapartida, os veículos com motor de combustão interna apenas tem um *eficiência global de aproximadamente 12%* (SAUER et al., 2015).

Assim sendo, em termos energéticos e ambientais *seria mais eficiente produzir energia elétrica com gás natural (ciclo combinado), capturar e armazenar o carbono emitido, e energizar o transporte mundial com eletricidade em vez de queimar ineficientemente em motores de combustão interna*⁴⁹. Todavia, as tecnologias de captura e armazenamento ainda não estão amadurecidas tecnicamente e há desafios regulatórios, políticos e econômicos importantes (AMINU et al., 2017) que têm inviabilizado até hoje a difusão destas opções (AKBILGIC et al., 2015).

É importante dedicar umas palavras finais ao estudo da manipulação em grande escala da temperatura global através da gestão da irradiação solar (SRM)⁵⁰. No fundo, a ideia é simples: reduzir a irradiação solar que entra no planeta para estabilizar ou diminuir a temperatura global. Entre as opções na literatura científica estão a emissão deliberada de dióxido de enxofre na atmosfera para refletir a irradiação solar ou instalar refletores solares ou

⁴⁸ Cujo progresso técnico tem sido beneficiado pelo desenvolvimento das baterias de íons de lítio, reduzindo o peso e incrementando a autonomia dos veículos (SAUER; RODRIGUES, 2016, p. 191).

⁴⁹ De fato, mesmo sem captura e armazenamento de carbono a eletrificação veicular é mais eficiente que a atual mobilidade a combustão interna. Porém, a captura e armazenamento de carbono garantiria uma redução expressiva das emissões de CO₂.

⁵⁰ “Solar Radiation Managment”.

nuvens de poeira no espaço também com o mesmo objetivo (BEWICK; SANCHEZ; MCINNES, 2012; ZHANG et al., 2015). Embora estas propostas pareçam ficção científica, há programas sérios de pesquisa em geoengenharia solar em universidades de primeira linha mundial como a Universidade de Harvard, tentando abrir um espaço para experimentar em pequena escala (HARVARD UNIVERSITY, 2018).

Além dos aspectos econômicos e técnicos nos quais não é possível entrar pelo prematuro estágio em que se encontram estas ideias, o desafio fundamental destas propostas mais “ousadas” para combater o aquecimento global seria garantir que as aplicações destas tecnologias de intervenção massiva na dinâmica natural do planeta não tenham impactos socioambientais com balanço negativo e desigual por regiões. Há um desconhecimento parcial, senão quase completo, dos riscos sobre o planeta, e o princípio de precaução tem sido levado muito em conta.

Quiçá o elemento mais importante destas propostas de captura e armazenamento de carbono e especialmente das abordagens de geoengenharia é o conteúdo ideológico embutido, pois as mudanças no processo social e econômico são deixadas no segundo plano para dar ênfase ao aspecto tecnológico. Em tese, o problema das emissões e do aquecimento global poderia resolvido diretamente sem entrar em pretensões sociais reformistas ou revolucionárias, mas não é claro como os objetivos mais amplos de desenvolvimento sustentável como eliminação da fome, redução da desigualdade, etc. possam ser resolvidos somente baseando-se na tecnologia. As abordagens de captura e armazenamento e as de geoengenharia mostram, por um lado, o interesse óbvio da indústria dos fósseis por manter os fósseis na matriz energética mundial, mas também, uma desconfiança e/ou preocupação tácita de encontrar soluções efetivas para o aquecimento global nas coordenadas do capitalismo contemporâneo. É através desta mesma desconfiança que podemos entender propostas ainda mais ousadas como a do reconhecido físico Stephen Hawking que em 2017 declarou a necessidade de colonizar outros planetas nos próximos 100 anos (KHARPAL, 2017).

Como comentário final deste capítulo, pode-se dizer que nos primeiros 16 anos do século XXI experimentou-se a incubação das energias renováveis, incubação em condições relativamente favoráveis. Estamos vivendo um período de gestação do que pode ser o nascimento de uma futura transição energética pós-combustíveis fósseis em escala global. Ainda não parece apropriado, porém, falar de uma ‘revolução renovável imparável’ (CLARK, 2017; ROOM, 2016) com apenas 3,6% da matriz energética mundial atendida com renováveis em 2016.

As fundações de uma transição energética pós-combustíveis fósseis estão sendo construídas e os desafios de curto e médio prazos são significativos. É evidente que existem *lobbies* poderosos e agressivos das indústrias renováveis interessados em promover a ilusão de sucesso absoluto (DELMAS; LIM; NAIRN-BIRCH, 2016) visando garantir a lucratividade da indústria, mas por outro lado, também é verdade que uma transição energética futura exitosa requer não somente das fontes de energia limpas, mas uma campanha retórica efetiva que consiga conscientizar e alimentar o processo de transformação (SOVACOOOL; BROSSMANN, 2014, p. 850).

SOVACOOOL e BROSSMANN (2014, p.873) também indicam que ao longo da história recente, novas fontes de energia "descobertas" ou tecnologias recém-inventadas (máquina a vapor, veículos a gasolina, usinas hidrelétricas, reatores nucleares, entre outros) são sempre assumidas como fornecendo energia infinitamente abundante e como tendo o potencial de criar mudanças utópicas positivas na sociedade. Porém, enquanto as transições energéticas modernas passadas (biomassa a carvão mineral, a petróleo, gás, eletricidade) foram associadas a mudanças revolucionárias na indústria, transporte, comércio, conectividade, comunicação, etc. e tiveram um impacto econômico nitidamente positivo, o navio da transição renovável navega contracorrente (KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p. 383) como contracorrente é o cumprimento das metas de emissões no mundo: estima-se em apenas **0,5% de chances** de atingir a meta do acordo de Paris de continuar sem intervenção de políticas públicas em escala global (BOVARI; LECUYER; MC ISAAC, 2018). É preciso uma análise objetiva dos fatos que permitam um diagnóstico, prognóstico e execução de uma efetiva política energética e climática global associada a uma efetiva política econômica e social onde o ser humano e o ambiente são os eixos principais.

6. APORTES AOS DEBATES TEÓRICOS SOBRE SUSTENTABILIDADE ‘FORTE’, ‘FRACA’ E DECRESCIMENTO

Os resultados apresentados até aqui nos indicam que o capitalismo global vem carregando na sua trajetória de acumulação, uma pressão sobre os recursos naturais e provocando um impacto ecológico global. Este capítulo pretende incorporar os resultados empíricos dos capítulos anteriores dentro da discussão teórica do desenvolvimento sustentável, especificamente dentro do debate entre a visão da economia neoclássica e a economia ecológica. Nas seções 6.1 e 6.2 examina-se brevemente a abordagem neoclássica desde a perspectiva do consumidor (demanda) e do produtor (funções de produção e elasticidade substituição). A seção 6.3 introduz os conceitos básicos da economia ecológica e a seção 6.4 apresenta dois trabalhos críticos com participação de coautoria avaliando (a) implicações lógicas da alegada substituição entre capital e recursos naturais (b) as implicações lógicas e empíricas do modelo de Baumol (1986) sobre a possibilidade de aumentar o estoque efetivamente disponível de recursos finitos através do progresso tecnológico. Finalmente, a seção 6.5 traz à tona os resultados empíricos reportados no capítulo 3, que apesar de que algumas economias no planeta experimentaram crise e/ou estagnação econômica de longo prazo, mantêm estável ou aumentam o uso de energia e as emissões de CO₂, e os comenta brevemente na discussão do ‘decrescimento’.

6.1. Abordagem neoclássica da demanda: equilíbrio de mercado

Uma primeira explicação pela qual a demanda de recursos naturais e energia no mundo é crescente é fornecida através do funcionamento e equilíbrio das curvas de oferta e demanda dos recursos naturais. O primeiro elemento que deve ser destacado é que a microeconomia está fundamentada na importância central dos preços nas decisões dos agentes e no comportamento do mercado. Logo, é uma teoria econômica essencialmente de preços. Assim, o argumento central a respeito do uso crescente de recursos naturais e energia é que os preços desses bens têm declinado ou permanecido relativamente constantes ao longo do tempo, o que acompanhado de um aumento nos níveis de renda, tem ocasionado um aumento substancial nas quantidades demandadas.

MANKIW (2015, p. 512) no seu difundido manual de introdução à economia explica que

[...] Em uma economia de mercado, a escassez se reflete nos preços de mercado. Se o mundo estivesse ficando sem recursos naturais, então os preços desses recursos estariam aumentando ao longo do tempo. Mas, de fato, o oposto geralmente está mais próximo da verdade. Os preços da maioria dos recursos naturais apresentam

flutuações substanciais no curto prazo, mas, em longos períodos, esses preços corrigidos pela inflação estão estáveis ou em queda. Parece que nossa capacidade de preservar esses recursos está crescendo mais rapidamente que a oferta está caindo. Os preços de mercado não nos dão nenhum motivo para acreditar que os recursos naturais sejam uma limitação ao crescimento econômico.

PINDYCK e RUBINFELD (2001, p. 28) em outro popular livro sobre microeconomia, repetem o argumento de preços e indicam que é fato que a terra só tem uma quantidade finita de recursos naturais como o cobre, ferro, carvão, e petróleo. Sem embargo, durante o século passado, os preços destes e a maioria dos recursos naturais têm declinado ou permanecido relativamente constantes em termos reais. A Figura 6.1 apresenta o índice de preços nos EUA de 5 dos principais minérios usados na economia mundial entre 1900 e 2013 e a Figura 6.2 mostra os preços do carvão mineral, petróleo e gás natural no período entre 1820 e 2012. Ambos gráficos corroboram os assinalamentos dos autores mencionados logo acima e mostram claramente que os preços mantêm uma tendência secular relativamente estável ou decrescente durante este período, com alguns picos do preço do petróleo.

Figura 6.1 – Índice de preços nos EUA para 5 metais altamente usados na indústria mundial. Período 1900-2013 (Titânio 1939-2013).

Fonte: Elaboração própria com dados de HENCKENS et al. (2016).

Figura 6.2 – Preços mundiais estimados do carvão mineral (1800-2012), petróleo (1860-2012) e gás natural (1890-2012) em \$1990/TJ.

Fonte: COURT e FIZAINE (2017).

Adicionalmente, sabemos que a renda real tem crescido substancialmente no mesmo período (Tabela 6.1). Em conjunto, preços estáveis ou decrescentes e aumento de renda explicariam o crescimento do uso de energia e no uso de recursos naturais⁵¹. Na medida em que a demanda aumentou, os custos de produção caíram devido ao descobrimento de novos e maiores depósitos, que fizeram a mineração mais barata, ao progresso tecnológico e às vantagens econômicas da produção em grande escala (PINDYCK; RUBINFELD, 2001, p. 28–29, tradução nossa).

Tabela 6.1 – Crescimento econômico real por países.

País	Período	PIB real per capita no início do período*	PIB real per capita no final do período*	Taxa de crescimento (por ano)
Japão	1890-2008	1.504	35.220	2,71%
Brasil	1900-2008	779	10.070	2,40%
Alemanha	1870-2008	2.184	35.940	2,50%
Canadá	1870-2008	2.375	36.220	1,99%
Estados Unidos	1870-2008	4.007	46.970	1,80%
Reino Unido	1870-2008	4.808	36.130	1,47%

Fonte: MANKIW (2015, p. 505).

Deslocamentos à direita das curvas de oferta e demanda têm garantido preços menores de longo prazo e quantidades demandadas crescentes (Figura 6.3). Assume-se que no momento

⁵¹ O aumento no uso de energia foi estudado nos capítulos anteriores; com relação aos minérios, HENCKENS et al. (2016) estimam uma média anual de 6,2% de crescimento na extração dos principais minérios no mundo entre 1900 e 2013.

em que os preços aumentem o consumidor se verá forçado a diminuir o consumo ou substituir os recursos naturais por outros ou por outras mercadorias. Em suma, a argumentação neoclássica depende da premissa dos preços como sinalizadores de informação perfeita presente e futura.

Figura 6.3 – Movimentos de longo prazo da oferta e demanda de recursos minerais.

Fonte: PINDYCK e RUBINFELD (2001, p. 29).

6.2. Abordagem neoclássica da produção: recursos naturais e energia como fatores de produção

Outra abordagem de origem microeconômica, mas que se expandiu para a macroeconomia com as funções de produção agregadas, vem do enfoque na produção de mercadorias. No processo de produção, as empresas combinam fatores de produção (terra, capital, recursos naturais, energia, etc.) para produzir mercadorias tendo como restrição da produção a minimização dos custos de produção e como objetivo a maximização dos lucros da empresa.

Uma função de produção representa matematicamente a produção máxima que uma firma pode produzir (Q) com uma combinação específica de fatores de produção $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$$

Por sua parte, a isoquanta é uma curva que mostra todas as possíveis combinações de fatores de produção que permitem produzir o mesmo produto Q , e a curva de isocusto é a curva que mostra todas as possíveis combinações entre fatores de produção que podem ser adquiridas a um custo total constante. Em termos simples, a curva da isoquanta indica as combinações entre fatores de produção para maximizar a produção e a curva do isocusto minimiza os custos dessa produção.

A Figura 6.4 apresenta uma curva hipotética de isocusto (linha vermelha) e uma curva isoquanta para o fator de produção recurso natural (no eixo vertical) e capital manufaturado

(eixo horizontal). A interseção entre as duas curvas mostraria as quantidades de recurso natural e capital que maximizam a produção e minimizam os custos. Se a relação de preços é desfavorável para o uso de recurso natural (preços aumentam mais do que os preços do capital) o produtor decidiria substituir quantidades físicas de recurso natural por capital manufaturado.

Figura 6.4 – Isoquanta recursos naturais – capital (recursos naturais essenciais) e curva de isocusto hipotética (linha vermelha).

Fonte: Adaptado de STIGLITZ (1980, p. 42).

Assim, os recursos naturais não são essencialmente diferentes de outro fator de produção (STIGLITZ, 1980, p. 64). Nesta perspectiva, em tese pode-se prescindir dos recursos naturais no processo de produção assim como se poderia prescindir de trabalhadores. O problema de um cenário de esgotamento de recursos naturais como um potencial limite ao crescimento econômico encontraria sua ‘solução’ na substituição pelo capital manufaturado. Evidentemente, isto acontecerá no momento em que os preços dos recursos naturais aumentem assinalando a escassez econômica⁵² e a necessidade econômica da substituição de fatores.

Que acontece quando a produção (Q) aumenta? A Figura 6.5 apresenta um mapa de isoquantas e isocustos para diferentes níveis de produção crescente. Supondo que no eixo vertical (b) representamos recurso natural e no eixo horizontal (a) o capital, e que os preços dos fatores são fixos, acréscimos sucessivos de Q_0 (deslocamentos ascendentes para novas isoquantas) implicam crescimentos nas quantidades físicas de recurso natural e capital. Este aumento dos níveis de produção é representado nos pontos E, E’ e E’’ de ambos gráficos e convencionalmente chamado ‘caminho da expansão’.

⁵² É necessário diferenciar escassez no sentido econômico da escassez no sentido geológico. Sendo a primeira uma escassez no sentido de excesso de demanda de um recurso a determinado preço (NEUMAYER, 2003, p. 94, nota de rodapé 4) e a segunda uma escassez física. Para a teoria neoclássica, a importante é a escassez econômica.

Figura 6.5 – Mapas de isoquantas com fatores de produção a e b e dois tipos de caminhos de expansão

Fonte: (CHIANG, 1982, p. 362).

O elemento fundamental desses gráficos é que o caminho de expansão da firma implica novas isoquantas deslocadas à direita da origem. Portanto, se a relação de preços entre fatores de produção é fixa (**preços fixos**) o aumento da produção implica quantidades crescentes de ambos os fatores. O produto aumenta quando aumentam proporcionalmente os fatores de produção ao longo do caminho de expansão OE, OE', OE''. Assim, o resultado do crescimento do produto (seja micro ou macro, **mantendo os preços dos insumos fixos**, terá como consequência um aumento do fluxo de recursos naturais).

Dando continuidade ao argumento, neste ponto cabe perguntar: o que sabemos dos preços dos fatores de produção capital, trabalho e recursos naturais e energia? Até agora, sabemos que os preços dos recursos naturais e a energia tiveram uma tendência decrescente e posteriormente estável nos últimos séculos. No caso do fator de produção trabalho, o preço do fator de produção é o salário real. Não é fácil encontrar registros dos salários no longuíssimo prazo, mas foi encontrado registro da economia inglesa (Figura 6.6), dinamarquesa (Figura 6.7) e dos Estados Unidos. Os registros indicam que o salário real tem aumentado no longo prazo desde o século XIX até grande parte do século XX. No caso dos Estados Unidos, registra-se que a remuneração média anual real dos trabalhadores⁵³ aumentou de US\$ 496 (dólares de 1914) em 1900 a US\$ 1750 (dólares de 1914) em 1960 (BUREAU OF THE CENSUS, 1975, p. 164). Por sua parte, o Instituto de Política Econômica (*Economic Policy Institute*) indica que a compensação horária média dos trabalhadores de produção e 'não supervisionados' (ajustada pela inflação) nos Estados Unidos cresceu 109% entre 1948 e 2014 (BIVENS; MISHEL, 2015). Em suma, *o preço do fator de produção trabalho parece ter aumentado de forma generalizada.*

⁵³ "Average annual earnings of employees".

Figura 6.6 – Salários reais diários em Inglaterra. Período 1260- 1994.

Fonte: GIL-ALANA (2005)

Figura 6.7 – Salários nominais, índice de preços ao consumidor e salário por hora real em Dinamarca. Período 1487-2013. (Escala semilogarítmica).

Fonte: ABILDGREN (2017)

E o que se pode dizer dos preços do fator de produção capital? A situação é bem mais complexa porque não é claro o que é especificamente ‘capital’ para a teoria neoclássica (maquinaria, equipamentos, patrimônio, riqueza, propriedades, etc...), como se mede, quanto custa, e se é possível agregar o ‘capital’ para uma economia. Isto tem grande implicação para análise econômica da teoria do valor, distribuição e crescimento e é parte da chamada ‘controvérsia de Cambridge’. Este debate pode ser interessante para discutir o conceito e aplicação do chamado ‘capital natural’ no campo da sustentabilidade, contudo, não está no escopo deste trabalho. Entretanto, o que interessa é observar a tendência dos preços dos

fatores de produção, para tentar entender o raciocínio da substituíbilidade de fatores de produção. No caso específico do fator de produção capital, o índice de preços dos bens de investimentos ou também chamados de bens de capital é o preço *proxi* do capital (HERGOVICH; MERZ, 2018). Nos EU o índice de bens de capital vem caindo regularmente desde 1947 até 2015 (Figura 6.8).

Figura 6.8 - Índice de preços dos bens de investimento (ano base 2009).

Fonte: DICECIO (2016)

Assim, o preço decrescente dos bens do capital e a tendência de salários crescentes tem facilitado o processo de substituição capital/trabalho, principalmente nos países industrializados (HERGOVICH; MERZ, 2018). Se incluirmos o fator de produção recurso natural e/ou energia na análise, a tendência decrescente e estável dos preços desses fatores indicaria que a tendência do empresário seria a usar intensivamente capital e recurso natural para substituir trabalho.

Assim sendo, da mesma forma que na abordagem da demanda, a abordagem da produção, fiel ao princípio orientador dos preços na economia, explicaria que o uso crescente de recursos naturais que temos observado para a economia mundial está explicado nas próprias condições de mercado, especificamente devido a que os preços decrescentes e estáveis dos recursos naturais e do capital, vem substituindo o fator trabalho.

A expectativa lógica desta abordagem é que quando os recursos naturais sejam escassos no sentido econômico e, por conseguinte, se incrementem os preços, se desenvolverá um processo de substituição entre capital (maquinaria, tecnologia, etc.), trabalho e recursos naturais e/ou entre recursos naturais não renováveis por renováveis⁵⁴; processo ligado ao progresso científico-tecnológico. Em consequência, não haveria implicações fundamentais na dinâmica futura de crescimento econômico; crescimento econômico que por sua vez compensaria os impactos negativos das mudanças climáticas e de outras perdas ambientais.

⁵⁴ Assim como se optará pela reciclagem, por exemplo.

Este ‘paradigma’ da sustentabilidade baseado nos preços e na substituíbilidade de fatores de produção tem-se chamado de sustentabilidade ‘fraca’.

6.3. Abordagem geral da sustentabilidade ‘forte’

Para a chamada sustentabilidade ‘forte’, ligada à economia ecológica, a diferença essencial é que os recursos naturais (ou capital natural) não são substituíveis por outras formas de capital (NEUMAYER, 2003, p. 41). Apelando a aspectos éticos e de justiça geracional, argumenta-se que não é possível compensar as futuras gerações pela degradação ambiental através de um consumo crescente no futuro. Adicionalmente, e associado a este ponto, há pessimismo a respeito das consequências ambientais do crescimento econômico (Ibid, p. 26-27). Isto é, incompatibilidade entre crescimento econômico e sustentabilidade por um lado, e por outro lado, incompatibilidade entre um planeta com recursos finitos e uma economia com perpétuo crescimento.

No que se refere ao papel dos preços como sinal de escassez, elemento fundamental na sustentabilidade ‘fraca’, a crítica mais contundente segundo NEUMAYER (2003, p.60, tradução nossa) foi elaborada por NORGAARD (1990, 1991) quando assinala que para que os preços possam refletir corretamente escassez presente e futura, a condição necessária seria um sistema completo e ideal de mercados, incluindo mercados opcionais e futuros; condição esta que não existe. Em síntese, haveria um problema de informação imperfeita e previsão imperfeita na economia que poderia perfeitamente estar sendo incorporada nos preços e indicando erroneamente a escassez real dos recursos naturais.

Não é neste trabalho que se pretende avaliar o debate entre as diferentes correntes de econômicas abordando o tema do desenvolvimento sustentável, para o qual há abundância de literatura disponível (DALY, 1997a, 1997b; KERRY TURNER, 1997; MAYUMI; GIAMPIETRO; GOWDY, 1998; PEET, 1997; SOLOW, 1997; STIGLITZ, 1997) e onde a obra de NEUMAYER (2003) é fortemente recomendada como uma revisão e sistematização crítica. O importante para o desenvolvimento final deste capítulo é destacar um ponto levantado pelo próprio Neumayer: nem o ‘paradigma’ da sustentabilidade ‘forte’ nem o da sustentabilidade ‘fraca’ são facilmente testáveis cientificamente. Em palavras do autor

[...] A conclusão que decorre da análise é que ambos os paradigmas são não falseáveis sob padrões científicos. Ambos descansam em premissas, bem como hipóteses e reivindicações sobre o futuro (distante) que não são refutáveis. Isso não significa, é claro, que sejam absurdos. Ambos têm alguma plausibilidade teórica, bem como evidências empíricas em seu apoio. Mas, como nenhum dos dois paradigmas podem ser refutados, isso significa que a ciência não pode dar uma resposta inequívoca sob qual paradigma de sustentabilidade a sociedade deve seguir

se estivesse empenhada com o DS [Desenvolvimento Sustentável]. (NEUMAYER, 2003, p. 88, tradução nossa).

Nas seções 6.4 e 6.5 deste capítulo se apresentara a síntese dos resultados de AMADO (2010) e AMADO, MEZA e SAUER (2016, 2017) que exploram as implicações analíticas de dois aspectos centrais da sustentabilidade ‘fraca’: o *indicador elasticidade-substituição* e o papel da *tecnologia e a eficiência no aumento dos recursos finitos disponíveis* usando o modelo proposto por (BAUMOL, 1986). O objetivo destes trabalhos foi tentar encontrar implicações analíticas *dentro das estruturas internas dos modelos* que possam ser sujeitas a *testes empíricos* e, por conseguinte, permitam usar os resultados quantitativos apresentados nos capítulos 2, 3 e 4 para contribuir no debate entre sustentabilidade ‘fraca’ e ‘forte’.

6.4. Sobre o indicador de elasticidade substituição entre capital e recursos naturais

No trabalho de doutorado de AMADO (2010) e posteriormente em AMADO, MEZA e SAUER (2016) avalia-se o indicador de elasticidade substituição capital – recursos naturais como ferramenta de análise para o desenvolvimento sustentável. A análise parte da premissa epistemológica de que é mais proveitoso cientificamente *utilizar os pressupostos do modelo neoclássico e tentar extrair consequências testáveis empiricamente*. Para isso os autores adotam a função de produção típica na forma $Q = f(k, n)$ onde q é produto, k é capital e n recursos naturais e exploram as implicações analíticas de formalização matemática que acompanha o indicador de elasticidade-substituição. Sabemos que a construção do indicador elasticidade-substituição foi desenvolvida assumindo uma função de produção com uma *produção (q) constante, isto é, condições de equilíbrio estáticas*. A discussão inicia assinalando que

[...] Nas análises de sustentabilidade ambiental nas quais o indicador elasticidade de substituição é utilizado isto tem sido sistematicamente ignorado. Apesar desta condição fundamental assumida na construção do indicador, elasticidades de substituição são aplicadas sem reservas em ambientes dinâmicos, envolvendo longas trajetórias de aumento do produto (Q). Isto é feito sem que sequer seja apresentada qualquer justificativa para o procedimento. (AMADO; MEZA; SAUER, 2016, p.5)

A partir daí, argumenta-se que é preciso explorar um pressuposto mais adequado à realidade econômica que é assumir que o produto (q) é crescente ao longo do tempo (o que é, via-de-regra, a dinâmica regular das economias)

$$dq/dt > 0 \quad (1)$$

É a partir daí que se desenvolve analiticamente a análise de substituição entre recurso natural (n) e capital (k) e encontra-se que *se o capital manufaturado estivesse substituindo recursos*

naturais ao longo do tempo em condições de uma produção crescente ($q > 0$) a quantidade de recursos naturais usados deveria ter uma tendência decrescente ao longo do tempo

$$dn/dt < 0 \quad (2)^{55}$$

Assim, se sabemos que o consumo de energia e recursos naturais da economia global e da maioria das economias do planeta apresenta uma tendência crescente, não há correspondência empírica como a implicação esperada na equação 2. Na equação 2 encontramos a possibilidade de testar empiricamente que não há evidência que o *capital manufaturado esteja efetivamente substituindo recursos naturais e portanto nos permite confirmar que o ritmo passado e presente da produção e do crescimento econômico não está prescindindo do uso de recursos naturais*⁵⁶. PIKETTY (2014, p. 229), apesar que não pretenda discutir o tema da substituíbilidade de fatores de produção no contexto do desenvolvimento sustentável, afirma de forma esclarecedora em uma passagem de seu livro *O Capital no século XXI*

[...] A evolução tecnológica decerto aumentou a necessidade de cada vez mais qualificações e competências humanas. Todavia, ela também aumentou as necessidades de edifícios, moradias, escritórios, equipamentos de todos os tipos, patentes e, por fim, o valor total de todos esses elementos não humanos – imobiliários, profissionais, industriais, financeiros – expandiu-se mais rapidamente do que a produção e a renda nacional durante períodos prolongados. Do mesmo modo, o volume de rendas que remuneram essas diferentes formas de capital cresceu mais rápido do que o montante de rendas do trabalho. Se desejarmos, de fato, fundar uma ordem social mais justa e racional, baseada na utilidade comum, não basta contar com os caprichos da tecnologia.

Esse incremento acelerado da necessidade de edifícios, casas, escritórios, equipamentos de todo tipo, patentes, e no final o valor de todas estas formas de capital não humano tem incrementado o fluxo de recursos naturais que entra no processo econômico porque pela lei de conservação da massa, nunca se cria ou elimina matéria, apenas é possível transformá-la, logo o próprio capital na forma de edifícios, casas, escritórios, equipamentos, etc. se realiza de matéria e recursos naturais preexistentes.

Porém, em termos epistemológicos, a não adequação empírica da equação 2 com a realidade é insuficiente para afirmar que o indicador de elasticidade substituição não é adequado empiricamente de forma geral. Isto porque, como foi explicado anteriormente, a própria teoria econômica neoclássica supõe que o processo de substituição se produza *em função da minimização dos custos de produção*. Logo, se a relação de preços entre capital e recurso

⁵⁵ Cf. os autores para a formalização matemática detalhada.

⁵⁶ É importante salientar que neste caso, o fato dos recursos naturais serem renováveis ou não, não é relevante. O objetivo aqui é discutir a adequação dos pressupostos do modelo, explorar a lógica interna e confrontar empiricamente.

natural não favorece a substituição, esta não teria por que acontecer. Com preços dos recursos naturais e energia com tendências decrescente ou estáveis o microeconomista argumentaria que não tem havido incentivo econômico pelo qual o empresário capitalista deva substituir recursos naturais e energia por capital manufaturado. Ao contrário, capital e recurso natural deveriam estar substituindo trabalho cada vez mais dispendioso para o empresário. As implicações deste resultado são amplas, abarcando teoria econômica, desenvolvimento sustentável, teoria do valor, problemas distributivos, entre outras. Porém, ainda precisaram ser desenvolvidas.

6.5. Crítica ao modelo de Baumol (1986) sobre a possibilidade de aumentar o estoque efetivamente disponível de recursos finitos através do progresso tecnológico.

Em um artigo publicado no periódico *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, vol. 42 (2017), Amado, Meza e Sauer examinam, com um intuito metodológico semelhante ao da seção anterior, o modelo desenvolvido em 1986 pelo reconhecido economista William Baumol em um artigo intitulado *On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources*. Em termos gerais Baumol defende e formaliza matematicamente a possibilidade de continuar na trajetória de crescimento econômico usual usando recursos naturais finitos. É claro para Baumol que os recursos finitos finalmente irão a acabar, mas os processos de exploração dos recursos são cada vez mais eficientes, sendo uma força contrariante que produz uma tendência crescente monótona na quantidade efetiva de estoque recursos. Em termos simples, mesmo que o consumo de recursos finitos ano a ano diminua o estoque total do planeta, os aumentos dos níveis de eficiência tecnológica para explorar esses recursos garantem cada vez mais recursos efetivos.

A formalização matemática que Baumol apresenta no artigo permitiu extrair implicações analíticas significativas, que permitem ser testadas empiricamente. Baumol começa propondo a seguinte equação:

$$R_{t+1} = R_t - V_t \quad (3)$$

A equação 3 nos diz a quantidade usável de recursos remanescentes no planeta no período $t+1$ (R_{t+1}) depois de ter consumido uma parte no período t (V_t) correspondente ao estoque do período t (R_t). Os recursos consumidos (V_t) são iguais a diferença temporal entre estoques:

$$V_t = R_t - R_{t+1} \quad (4)$$

BAUMOL (1986, p. 176) assume que a taxa de degradação física dos recursos segue uma tendência exponencial decrescente de acordo com a seguinte equação:

$$R_t = R(1 + b e^{-rt}) \text{ with } b, r > 0 \quad (5)$$

Que não é mais que supor que a quantidade usável de recursos remanescentes no planeta (R_t) é degradada exponencialmente do estoque inicial de recursos (R). Assim, usando a equação 5, AMADO, MEZA e SAUER (2017) mostram que a quantidade usável de recursos remanescentes no período $t+1$ seria degradada da seguinte forma:

$$R_{t+1} = R(1 + b e^{-r(t+1)}) \rightarrow R_{t+1} = R(1 + b e^{-rt-r}) \quad (6)$$

Introduzindo as equações 5 e 6 na equação 4 temos que

$$V_t = R(1 + b e^{-rt}) - R(1 + b e^{-rt-r}) \quad (7)$$

Depois de algumas operações algébricas (Cf. Ibid, p. 7) a equação 7 se simplifica:

$$V_t = R b e^{-rt-r} (e^r - 1) \quad (8)$$

Derivar a equação 8 em função do tempo nos permitiria determinar qual é a taxa de variação no consumo de recursos (V_t) em relação ao tempo

$$dV_t/dt = -r R b e^{-rt-r} (e^r - 1) \quad (9)$$

Sabendo que $e^r > 1$ para todo $r > 0$ e sabendo que $r, R, b > 0$, é claro que *a taxa de variação do consumo de recursos no tempo é negativa*:

$$dV_t/dt < 0 \quad (10)$$

Em consequência, a lógica interna do modelo de Baumol exige que a quantidade de recursos consumidos (V_t) no tempo tenha uma trajetória decrescente ($dV_t/dt < 0$). Deste modo, a equação 10 nos permite avaliar empiricamente o modelo de Baumol: se o consumo de recursos finitos tem uma trajetória decrescente o modelo de Baumol é empiricamente adequado; se ocorre o contrário, o modelo não tem um embasamento empírico. A Figura 6.9 mostra que o consumo global anual de combustíveis fósseis (recursos finitos ou V_t) apresenta uma tendência crescente; tendência crescente, embora oscilante, que se mantém se isolamos o efeito populacional (Figura 6.10).

Figura 6.9 - Consumo global de carvão, petróleo e gás natural (quad). Período 1965-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017). Nota: Carvão mineral (1 Mt = 0,0284 quad), petróleo (1 Mt = 0,04398 quad) e gás natural (1 Mtoe = 0,0396 quad).

Figura 6.10 - Consumo global de carvão, petróleo e gás natural agregado (quad por milhão de pessoas). Período 1965-2016.

Fonte: Elaboração própria com dados da BP (2017) e THE WORLD BANK (2017). Nota: Carvão mineral (1 Mt = 0,0284 quad), petróleo (1 Mt = 0,04398 quad) e gás natural (1 Mtoe = 0,0396 quad).

Neste sentido, tendências crescentes são também encontradas no uso de recursos minerais não-energéticos (HENCKENS; DRIESSEN; WORRELL, 2014) e no consumo global de materiais (incluindo desta vez biomassa, combustíveis fósseis, metais e minerais industriais e minerais de construção) (UNEP, 2013, p. 7-8)⁵⁷. Portanto, os resultados nos sinalizam em direção a rejeitar a hipótese da expansão contínua de recursos finitos na forma explicitada por Baumol. Em conjunto, tanto a rejeição da adequação empírica do modelo de Baumol como a não adequação de que efetivamente capital manufaturado esteja substituindo recurso natural aportam evidência em favor de rejeitar pontos fundamentais da sustentabilidade ‘fraca’ e nos

⁵⁷ Cf. SCHAFFARTZIK et. al (2014) para uma análise completa regionalizada do consumo global de materiais corroborando estes resultados e aprofundando a análise.

inclinam a favor de uma concepção de um processo produtivo como um sistema aberto que constantemente intercambia materiais e energia para acionar a roda de acumulação. Sendo assim, sem novas formas de energia que permitam substituir os hidrocarbonetos, provavelmente haveria um importante limite de longo prazo para manter futuras taxas de crescimento econômico como as observadas durante o século XX (PIKETTY, 2014, p. 98). Este cenário de longo prazo provavelmente será evitado com uma transição energética, mas é importante porque nos convida a repensar a representação teórica das relações entre Economia e Natureza.

6.6. Uma nota sobre o ‘Decrescimento’

“... Sabemos que é insustentável o comportamento daqueles que consomem e destroem cada vez mais, enquanto outros ainda não podem viver de acordo com a sua dignidade humana. Por isso, chegou a hora de aceitar certo decréscimo do consumo em algumas partes do mundo, fornecendo recursos para que se possa crescer de forma saudável noutras partes...”.

(PAPA FRANCISCO, 2015)

Os resultados dos capítulos anteriores apontam o crescimento econômico como elemento central na problematização ecológica. Ante a crise ecológica global e a insuficiência do crescimento econômico para satisfazer as necessidades humanas fundamentais nos países subdesenvolvidos e as aspirações de bem-estar subjetivo nos países desenvolvidos, surge na Europa na década de 1970 o ‘decrescimento’ como uma proposta política e teórica ampla que concilie simultaneamente limites biofísicos do planeta com alta qualidade de vida.

Tabela 6.2 - Concepções sobre o decrescimento em diversos autores e autoras.

CONCEPÇÕES SOBRE O DECRESCIMENTO	
<ul style="list-style-type: none"> - um slogan com implicações teóricas - um projeto político - um projeto de transformação radical da sociedade 	LATOUCHE, 2009
<ul style="list-style-type: none"> - uma área de pesquisa - um paradigma - um quadro interpretativo para um movimento social 	MURACA, 2013
<ul style="list-style-type: none"> - um quadro interpretativo para um movimento social - um projeto de redução voluntária do consumo e da produção - uma proposta de mudança radical - uma tentativa de repolitizar a tão necessária mudança socioecológica 	DEMARIA et al., 2013
<ul style="list-style-type: none"> - uma crítica à hegemonia do desenvolvimento - uma crítica ao crescimento - uma sociedade com um metabolismo menor, com uma estrutura diferente e que sirva a funções distintas 	KALLIS; DEMARIA; D’ALISA, 2015

Fonte: LATOUCHE (2009), MURACA (2013), DEMARIA (2013) e KALLIS, DEMARIA, D’ALISA (2014) apud SILVA (2017, p.18).

Está fora do escopo deste trabalho analisar sistematicamente o decrescimento (Cf. SILVA, 2017 para uma revisão sistemática e bem elaborada da literatura recente), mas os resultados

do capítulo 3 onde foram reportados casos de economias com PIB per capita decrescentes ou estagnadas que mantiveram um ritmo estável e até crescente nas emissões de CO₂ e/ou no uso de energia, nos permitem avaliar um elemento usualmente não avaliado empiricamente: o decrescimento do PIB per capita real em países subdesenvolvidos não garantiu *per se* economias com metabolismos biofísicos menores e menores índices de poluição.

Estes resultados reforçam que a relação entre crescimento econômico e qualidade ambiental é complicada e vai além do crescimento econômico medido a través do PIB (VAN DEN BERGH, 2011). Para JACKSON (2016, p. 15) a principal diferença entre crescimento ‘verde’ e decrescimento é que o segundo não aposta em uma estratégia de crescimento econômico (medido pelo PIB) como meio de atingir o desenvolvimento sustentável. Assim, sugere-se que é preciso uma transformação política e econômica de raiz da sociedade para realmente garantir uma diminuição da escala econômica que seja acompanhada por uma diminuição do impacto ecológico (KALLIS, 2011). Porém, sabemos bem os impactos de uma economia com decrescimento forçado (desemprego, fome, guerras, etc.), mas não sabemos o que seria uma economia desenvolvida capitalista decrescendo voluntariamente.

Tim Jackson e Peter Victor são dois acadêmicos que têm se aprofundando na discussão técnica macroeconômica do decrescimento em economias desenvolvidas faz quase uma década. O problema fundamental para esses autores se resume na seguinte pergunta realizada por Tim Jackson em 2009: é possível prosperidade sem crescimento econômico? Jackson respondia afirmativamente condicionando sua resposta à necessidade de reformar profundamente o funcionamento das economias, incluindo uma redefinição da concepção ideológica de prosperidade, investimentos dirigidos a uma transição energética, precisando criar uma nova macroeconomia, com uma nova governança que respeite os limites ecológicos, entre outras medidas (JACKSON, 2009).

Em princípio, o que deve ser dito é que apesar de assinalar que o problema ecológico tem uma natureza global a questão do decrescimento **é um desafio essencialmente dos países ricos com implicações para os países pobres** (JACKSON, 2009, p. 6; VICTOR, 2008a). Com base nessa premissa, o foco de estudo desses autores (Jackson e Victor) tem sido economias desenvolvidas, especificamente estudando os limites e possibilidades macroeconômicas de decrescimento econômico nas economias desenvolvidas. Um primeiro trabalho de VICTOR (2008a) simula cenários usando equações das relações macroeconômicas básicas e o modelo de crescimento neoclássico de produção, na sua forma Cobb-Douglas, e explora os aspectos

macroeconômicos, sociais e ambientais de gerir a economia canadense com crescimento, baixo crescimento e sem crescimento.

Os resultados das simulações dos cenários é que o ‘não crescimento’ da economia canadense seria desastroso se aplicado de forma irresponsável, mas um crescimento econômico reduzido com tendência a se estabilizar no longo prazo poderia ser compatível com resultados econômicos, sociais e ambientais atrativos, se acompanhado de medidas redistributivas e imposto de carbono. Um problema fundamental com os resultados de VICTOR (2008) é que entram em contradição com um dos poucos consensos dentro da economia heterodoxa tanto marxista como não marxista: as economias capitalistas estão sujeitas a um **imperativo de crescimento**. Dentro da economia marxista podemos mencionar o próprio Karl Marx no volume I do *Capital* (MARX, 1996a), Rosa Luxemburgo no seu livro sobre a acumulação do capital (LUXEMBURG, 1985) e contemporaneamente David Harvey quando explica de forma mais simples o princípio de capitalização e sua relação com o sistema financeiro (HARVEY, 2013, p. 341, passim)

$$Da - Db - M \begin{pmatrix} T \\ Mp \end{pmatrix} \dots P \dots M' - Db' - Da'$$

O sistema financeiro transfere **dinheiro emprestado (Da)** que passa às **mãos de um capitalista engajado na produção (Db)** com o objetivo de ganhar algo através de **ciclo de produção** que valoriza o capital ($Db - M \begin{pmatrix} T \\ Mp \end{pmatrix} \dots P \dots M' - Db'$), e uma parte do **mais-valor obtido com a venda das mercadorias (Db')** é dividido entre o capitalista que produz e o pagamento do **dinheiro emprestado mais os juros (Da')**.

Da linha não marxista, Schumpeter e Keynes reconheciam que o crescimento não seria possível sem bancos e sua habilidade de aumentar a oferta de dinheiro (BINSWANGER, 2009, p. 708), e de parte de economistas contemporâneos com influência keynesiana, se entende que as economias altamente dependentes do sistema financeiro estão baseadas **na expectativa de rendimentos econômicos positivos**, isto é, garantir taxas de crescimento que permitam manter a lucratividade mínima esperada das empresas e permitam garantir o pagamento dos empréstimos no longo prazo; caso contrário a economia entraria em colapso (BINSWANGER, 2009, 2015; GORDON; ROSENTHAL, 2003).

Vale mencionar que para os que argumentam que existe um imperativo do crescimento no capitalismo, este crescimento não é considerado necessariamente uma solução dos problemas sociais, humanos e econômicos. Ao contrário, BISWANGER (2006), por exemplo, assim

como VICTOR (2008b) discutem claramente a limitação do crescimento econômico e o consumo quando se trata do melhoramento dos níveis de bem-estar subjetivo. Na verdade, quando se fala de um ‘imperativo de crescimento’, não se fala em sentido moral senão uma necessidade intrínseca do funcionamento das economias capitalistas que para evitar cair em uma espiral de crise, precisam crescer. Logo, propostas como a de um estado estacionário e do decrescimento podem não ser realizáveis em economias capitalistas (BINSWANGER, 2015, p. 659).

Recentemente, JACKSON e VICTOR (2015) responderam aos questionamentos do imperativo econômico por causa do crédito fornecido pelo sistema financeiro com um artigo na linha da macroeconomia ecológica. Usando premissas da economia do Canadá e do Reino Unido para simular uma economia desenvolvida ocidental fechada, constroem um modelo macroeconômico dinâmico tentando avaliar se o crédito cria ou não um imperativo de crescimento. O objetivo da simulação é explorar as condições nas quais é possível criar uma economia de não crescimento sem que haja colapso econômico. Para isso, primeiro eliminaram os determinantes do crescimento da economia ‘real’ (Ibid, p. 39) (a) investimento bruto das firmas igual à depreciação. Isto é que não exista uma expectativa de retorno econômico positivo nos investimentos das empresas e os investimentos estariam dirigidos a compensar a depreciação; (b) gastos de governo não podem crescer ao longo do tempo (c) a acumulação de dívida governamental não deve crescer; (d) não existe poupança nas famílias. Adicionalmente, o crescimento populacional não é considerado no modelo, e tampouco o progresso tecnológico. Partindo dessas premissas, constroem-se cenários onde os autores mostram que ‘teoricamente’ seria possível gerir uma economia estacionária ou quase estacionária sem colapso no longo prazo. Assim, os autores indicam que não há evidência de um ‘imperativo de crescimento’ *per se* devido à existência de um sistema de créditos.

Antes de discutir os resultados dos autores é útil discutir outro artigo publicado pelos mesmos JACKSON e VICTOR (2016) no mesmo periódico no ano seguinte, mas desta vez, atacando um problema importante que PIKETTY (2014) aponta: a desigualdade incrementa-se em períodos de crescimento econômico baixo. Sendo assim, a proposta de decrescimento ou de economia estacionária se enfrentaria a um aparente *trade-off*: parar o crescimento por um apelo ambiental, mas exacerbar problemas socioeconômicos como desigualdade crescente e o desemprego, o que, em suma, pareceria nos afastar dos objetivos de “reduzir as desigualdades entre os países e dentro deles e promover emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos” como objetivos de desenvolvimento sustentável (DA VEIGA, 2015, p. 156-157).

Os autores fazem um exercício semelhante ao trabalho publicado em 2015 e usam um modelo macroeconômico fechado com quatro setores: famílias (dividida entre trabalhadores e capitalistas), governos, empresas e bancos, que interagem em função de relações macroeconômicas propostas pelos autores. As variáveis de entrada e premissas do modelo novamente tentam capturar a realidade de uma economia desenvolvida, usando informações macroeconômicas do Reino Unido e Canadá e adotando algumas premissas de estudos empíricos (JACKSON; VICTOR, 2016, p. 218).

Os resultados das simulações indicam que nas seguintes condições econômicas (a) não há desigualdade econômica inicial entre capitalistas e trabalhadores; (b) elasticidade de substituição capital-trabalho menor que 1; (c) economia fechada; (d) o sistema financeiro não tem um papel no crescimento econômico; (e) excluindo a variável de crescimento populacional e as mudanças tecnológicas; (f) aplicando impostos na riqueza e nos salários altos e (g) o capital sendo remunerado de acordo com a produtividade marginal; *seria possível diminuir a desigualdade no longo prazo ainda em condições de crescimento econômico tendendo a zero*. Assim, não haveria uma ‘inevitabilidade absoluta’ para que baixo crescimento aumente a desigualdade. A principal conclusão em matéria de políticas econômicas é a necessidade de proteger o trabalho assalariado de estratégias agressivas de redução de custos para favorecer os interesses do capital. Esta medida poderia ter o benefício adicional de manter um nível de emprego alto ainda em economias de baixo crescimento ou decrescimento (Ibid, p. 217).

De forma geral, é simples criticar os trabalhos de simulação dos autores de uma abstração excessiva de elementos institucionais, sociológicos e políticos fundamentais que explicam o funcionamento das economias capitalistas contemporâneas, assim como ignorar variáveis fundamentais na análise econômica como o crescimento populacional, o progresso tecnológico e a globalização do capital. Porém, o que pode ser considerado como realmente importante são as implicações mais gerais dos resultados. A primeira e mais clara é que nenhuma das propostas expostas pelos autores para poder transitar a economias de baixo crescimento ou crescimento zero sem colapso econômico parece ter chance de serem aplicadas sem planejamento econômico determinativo da economia, um planejamento que teria que ter um caráter de longo prazo. Portanto, seriam incompatíveis em governos com pouca intervenção na economia. A segunda é a necessidade de proteção do trabalho humano sobre os interesses do capital, taxação de grandes riquezas e reconfiguração do papel (e poder) do capital financeiro na economia e nas estruturas de governo, o que implica tacitamente uma

relação de poder dentro do Estado que favoreça os trabalhadores e a formação sindical. A terceira é a necessidade de uma profunda transformação ideológica de grande escala na sociedade, uma nova hegemonia ideológica o que implicaria ter controle não só do poder econômico senão dos ‘aparelhos ideológicos’. Finalmente, ainda assim, nada garantiria que a aplicação exitosa destas medidas em um país simplesmente não provoque deslocamento do capital para outros países nos quais as condições de reprodução sejam mais favoráveis. É por isto que se propõe um imposto global ao capital (PIKETTY, 2014).

Em suma, quando Peter Victor e Tim Jackson propõem este conjunto de intervenções na economia aspiram a um sistema econômico que ainda não existe e que parece estar longe das coordenadas do capitalismo contemporâneo neoliberal, tanto dos países ricos como dos pobres. Seria preciso uma economia onde

[...] A segurança de longo prazo deve ser priorizada sobre o ganho de curto prazo. Os retornos sociais e ecológicos devem ser tomados em consideração nas decisões de investimento, juntamente com os retornos financeiros convencionais. Melhorar a capacidade das pessoas para investir suas economias localmente, em benefício de sua própria comunidade, é primordial. Em suma, a reforma dos mercados de capitais não é apenas a resposta mais óbvia à crise financeira, também é um fundamento essencial para a prosperidade sustentável. (JACKSON, 2016, p. 22, tradução nossa)

É possível pensar em sociedades com alguns destes elementos, e sem dúvida é importante apoiar essas iniciativas que deverão ter em termos gerais, um impacto socioambiental e humano positivo. Porém, os desafios são grandes para vencer a vigência da lógica que mantém o *status quo*. É difícil deixar de perceber que Jackson e Peter parecem -mais que descrever medidas para uma reforma ao capitalismo- prescrever medidas para o que pareceria ser uma futura economia planejada com critérios sociais e ambientais.

7. AMÉRICA LATINA E O CARIBE: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA REGIONAL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Na evolução econômica da Europa ocidental foram fundamentais os descobrimentos geográficos de América no final do século XV. Os impérios espanhol e português consolidam-se a partir deste período; a expansão de terras produtivas disponíveis, disponibilidade de mão de obra escrava e semiescrava e o saqueio do ouro, da prata e de produtos agrícolas permitiram a expansão do comércio e do mercado europeu e definitivamente impulsionaram e contribuíram para transformar a economia europeia. De acordo com MARX (1996b, p. 370-372, negritas nossas)

[...] A descoberta das terras do ouro e da prata, na América, o extermínio, a escravização e o enfunamento da população nativa nas minas, o começo da conquista e pilhagem das Índias Orientais, a transformação da África em um cercado para a caça comercial às peles negras marcam a **aurora da era de produção capitalista**. Esses processos idílicos são momentos fundamentais da acumulação primitiva. (...) O tesouro apresado fora da Europa diretamente por pilhagem, escravização e assassinato **refluía à metrópole e transformava-se em capital**.

Enquanto para as metrópoles o descobrimento foi positivo economicamente, as colônias desenvolveram uma relação de dependência negativa com as metrópoles: estruturas econômicas orientadas a exportar (a preços baixos) as mercadorias que eram requeridas pelo mercado europeu, principalmente metais preciosos e produtos agrícolas. Portanto, apresentavam economias deformadas desde um princípio onde a produção para o mercado interno e/ou setores que faziam competição para algum interesse metropolitano eram deixados de lado ou proibidos (SOLA MONSERRAT, 1988, p. 43). Posteriormente, o domínio de América Latina e o Caribe passou das mãos européias para as mãos estadunidenses, marcando o início da doutrina Monroe “América para os Americanos” (MONROE, 1823).

Enquanto essa transferência de poder geopolítico acontecia no meio de guerras espalhadas quase por todo o continente, a estrutura econômica colonial exportadora de recursos naturais baratos continuava vigorando. Para os Estados Unidos a garantia de fornecimento de recursos naturais baratos do exterior era crucial e “América Latina e a África se perfilam como as primeiras produtoras potenciais de minerais, com exceção do petróleo, onde o Oriente Próximo é o grande potencial fornecedor” (LINCOLN, 1954, p. 172, tradução nossa). Em 1966, 474 anos depois do descobrimento da América, o **77% das exportações da América Latina e o Caribe** eram ainda alimentos (48,3%), combustível (10%) e minérios e metais (18,5%). Isto mostra claramente que a estrutura econômica da América Latina e o Caribe

condicionada pela produção e exportação de recursos naturais não é acontecimento recente: está embasada e construída sobre profundas raízes históricas e políticas de dependência colonial europeia inicialmente, e dependência imperial estadunidense, posteriormente. Hoje, pela primeira vez na história, o setor manufatureiro supera o limiar de 50% das mercadorias totais exportadas da região. Porém, só 12,5% dessas manufaturas exportadas são mercadorias de alta tecnologia⁵⁸. Portanto, do total geral de exportações, as mercadorias de **alta tecnologia só representam 6,3%**.

Tabela 7.1 – Exportações por tipos de mercadorias. América Latina e o Caribe.

Ano	Alimentos (%)	Combustíveis minerais (%)	Minérios e metais (%)	Manufatura (%)	Manufatura de alta tecnologia (% da manufatura)
1966	48,3	10	18,5	10,4	-
1976	40,9	16,3	15,6	20,8	-
1986	31,1	21,6	11	32,9	-
1996	23,5	14,8	9,2	48,1	8,7
2006	18,1	20,3	11,7	46,7	11,9
2016	26,6	7,9	11,5	50,3	12,5

Fonte: Elaboração própria com dados de THE WORLD BANK (2017).

Estas exportações com baixo valor agregado contribuem para explicar a redução da participação das manufaturas, mineração e ‘utilities’ no PIB da região e a estagnação da participação da região na produção mundial (Tabela 7.2, coluna B). Considerando somente as atividades manufatureiras (excluindo mineração e ‘utilites’) a tendência é a mesma, diminuição da participação no PIB da região e leve decréscimo na produção manufatureira global (Tabela 7.3, coluna B). Assim, a América Latina exporta cada vez mais mercadorias manufaturadas, mas com baixo valor agregado o que, em suma, faz com que o peso da indústria perca participação no PIB da região e se mantenha estagnada a participação na indústria mundial.

⁵⁸ As exportações de alta tecnologia são produtos altamente intensivos em pesquisa e desenvolvimento como os produtos da indústria aeroespacial, informática, farmacêutica, ferramentas científicas e maquinaria elétrica (THE WORLD BANK, 2017).

Tabela 7.2 - Indicadores do setor industrial (manufaturas + mineração e 'utilities') em América Latina, o Caribe e o Mundo (2005 US\$ constantes).

	Mundo (A)	América Latina e o Caribe (B)
Participação da indústria no PIB regional		
1970	24%	27%
1980	24%	27%
1990	22%	27%
2000	22%	27%
2010	22%	24%
2015	22%	23%
Participação da indústria na produção industrial mundial		
1970	100%	6%
1980	100%	8%
1990	100%	7%
2000	100%	7%
2010	100%	7%
2015	100%	6%

Fonte: Elaboração própria com dados de UNITED NATIONS (2017).

Tabela 7.3 - Indicadores das atividades manufatureiras (excluindo mineração e 'utilities') em América Latina, o Caribe e o Mundo (2005 US\$ constantes).

	Mundo (A)	América Latina e o Caribe (B)
Participação das manufaturas no PIB regional		
1970	17%	17%
1980	16%	18%
1990	15%	17%
2000	15%	17%
2010	17%	15%
2015	17%	14%
Participação na produção manufatureira mundial		
1970	100%	6%
1980	100%	8%
1990	100%	6%
2000	100%	7%
2010	100%	6%
2015	100%	5%

Fonte: Elaboração própria com dados de UNITED NATIONS (2017).

No entanto, esta tendência de mudança recente da estrutura de exportações da região não é homogênea: 97,7% das mercadorias exportadas pela Venezuela eram combustíveis minerais em 2013; na Colômbia os combustíveis passaram de 1,6% em 1981 a 50% em 2016; o México, por outro lado, vem diminuindo drasticamente o peso das exportações de combustíveis de 77,2% em 1982 a 4,9% em 2016 e o Brasil tem se mantido relativamente estável com um pico histórico de 11% em 2012 (THE WORLD BANK, 2017), provavelmente devido ao impacto da produção e exportação do óleo do Pré-sal.

Não há registros do Banco Mundial de exportações de combustíveis minerais de América Central porque América Central não tem reservas provadas de hidrocarbonetos e por conseguinte são $\approx 100\%$ importadores de combustíveis fósseis⁵⁹. Isto leva à conclusão que no debate de América Latina e o Caribe devemos organizar de forma genérica dois grupos de países (1) com indústrias de hidrocarbonetos e minérios e (2) importadores de hidrocarbonetos e sem indústrias expressivas de minérios. Um fator comum os une: a região como um todo pode ser das mais afetadas pela mudança climática (UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY, 2008) e sua responsabilidade histórica e atual com o problema é comparativamente pequena. O foco da análise no grupo de países 1 será América do Sul com fortes indústrias de hidrocarbonetos e minérios e no caso e no grupo de países 2, América Central sem reservas provadas de combustíveis fósseis. A tentativa final do capítulo é propor algumas propostas concretas de integração energética de América Latina como meio para superação de problemas comuns.

7.1. América Latina: extrativismo para “Viver Bem”?

O extrativismo pode ser entendido como uma intensa dependência biofísica (matrizes energéticas baseadas em fósseis) e economicamente negativa (peso na renda nacional) dos hidrocarbonetos e os minérios. EDWARDS (2017) nos oferece uma revisão de literatura das críticas ao extrativismo: as economias extrativistas tendem a apresentar, em maior ou menor medida, desempenhos econômicos pobres, instabilidade de crescimento devido aos *shocks* dos preços das mercadorias exportadas, inflação e dívida externa relativamente elevada, instabilidade sociopolítica e regimes políticos com democracias ‘fracas’. Tipicamente, se denunciam também os impactos socioambientais negativos especialmente sobre populações indígenas ou em situação de pobreza (LOPES; BIAZATTI, 2017; LOSEKANN, 2016).

No caso específico do Equador (país membro da OPEP) e Bolívia (produtor e exportador de gás natural, membro do Fórum de países exportadores de gás, e com as maiores reservas de lítio do mundo) podemos contextualizar a discussão dentro do que podem ser consideradas as propostas indígenas latino-americanas mais importantes em matéria de sustentabilidade: as noções de *sumak kawsay* no caso equatoriano e *suma qamaña/ñande reko* no caso boliviano.

⁵⁹ Belize conta com reservas, produção e exportação de óleo (GISCHLER et al., 2014), mas tampouco há registros estatísticos nos indicadores do Banco Mundial.

Pode-se traduzir a primeira como ‘Vida em plenitude, vida plena ou vida harmoniosa’ e a segunda como ‘Viver bem em harmonia com a natureza, a comunidade e consigo mesmo’ (RODRIGUEZ, 2016, p. 111-112). O elemento essencial dessas noções é pensar a relação social do ser humano como uma relação harmoniosa com a natureza e a comunidade, resgatando os saberes e resistências coloniais indígenas e promovendo uma cosmovisão alternativa ao desenvolvimento capitalista e à industrialização de forma geral (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 - Diferenças entre o Mal viver e o Bom Viver pós-desenvolvimentista

Dimensiones	Mal vivir	El Buen Vivir del posdesarrollo
Naturaleza	Contaminación, aislamiento, devastación, sobreexplotación, destrucción, catástrofes, valor mercantil.	Relación armónica, pertenencia a la naturaleza, comunión y unidad con ella, trato cuidadoso, tomar lo suficiente, valor de la vida.
Ser humano	Individual, separación (mente, cuerpo, espíritu, emociones), alienado, enajenado, estresado, valor del dinero (tener).	Consciente (espíritu, mente, cuerpo, emociones), sano, bien alimentado, en comunidad, viviendo al ritmo natural, ética.
Sociedad	Competitiva, insegura, inequitativa, desigual, culturalmente homogénea, indiferente, consumista, excluyente, injusta	Comunitaria, segura, igualitaria, heterogénea, diversa, intercultural, plural, control social, solidaria, colaborativa, recíproca, incluyente, justicia social.
Economía	Concentradora, capitalista, explotadora, propiedad privada, productivista, eficiencia, trabajo precario.	Solidaria, redistributiva, comunitaria, distintos tipos de propiedad (ejemplo, cooperativa, mixta), bien común, gozo del trabajo.
Estado	Nacional, desregulado, representativo vertical, al servicio del mercado, poder del capital (dinero), justicia liberal (derechos individuales).	Plurinacional, redistributivo, regulador, participativo horizontal, defensa de lo público, control social, justicia plural (derechos naturaleza).

Fonte: RODRIGUEZ (2016).

Para RODRIGUEZ (2016, p. 110, tradução nossa)

[...] A conceptualização contemporânea do *sumak kawsay*-*suma qamaña* é o resultado da resistência histórica dos povos nativos à assimilação e destruição de seus modos de vida pela sociedade ocidental, que surge da necessidade de sustentar e defender a existência de outras realidades diferentes da única verdade do pensamento ocidental e isso surge como uma proposta civilizadora alternativa antes da crise do sistema capitalista.

Logo, não se trataria então de entender a especificidade de América Latina para posteriormente superar o subdesenvolvimento, trata-se de superar o próprio conceito de desenvolvimento por considerá-lo como uma opção inútil e contraproducente com um forte componente colonial, que visa imitar a trajetória histórica industrial dos países desenvolvidos (ESCOBAR, 1995).

Como consequência das crises socioeconômicas e políticas decorrentes do neoliberalismo da década dos anos 90 na Bolívia e no Equador, as plataformas políticas progressistas que incluíam movimentos indígenas foram ganhando participação e protagonismo político em seus países (RODRIGUEZ, 2016, p.71-72) e terminaram por ganhar as respectivas eleições presidenciais. Os triunfos de Evo Morales na Bolívia em 2006 (primeiro indígena a ser

presidente na América do Sul) e Rafael Correa em Equador em 2007 significaram a inclusão de algumas das reivindicações históricas dos movimentos indígenas em relação à natureza e os recursos naturais **diretamente nos planos de governo** na forma de políticas públicas para o “Bom-Viver/Viver-Bem”; dentro de governos progressistas onde o Estado assume um papel importante na economia e na sociedade.

Estes governos progressistas que tentam incorporar as demandas indígenas dos seus países têm sido uma experiência inédita e valiosa para pensar e caminhar em projetos políticos próprios da América Latina. Porém, o processo também sofre tensões no plano da coerência entre as ideias que os atores políticos tinham do processo e da práxis política governamental nacional e internacional (KAJISER, 2016). Deste modo, tem se registrado dissidências, protestos e até oposição de parte de movimentos indígenas com os governos respectivos (RODRIGUEZ, 2016; SCHNEIDER, 2016). Está fora do escopo deste trabalho avaliar o conjunto de fatores e interesses envolvidos que explicam essa tensão/ruptura, tarefa que provavelmente os acadêmicos desses países já fizeram, mas para contribuir na discussão do desenvolvimento sustentável em América Latina é importante explorar as diferenças entre as propostas sementes do “Bom viver” e a práxis governamental sujeita à crítica.

Para RODRIGUEZ (2016) se distinguem duas linhas na proposta do “Bom Viver/Viver Bem”. A linha **pós-desenvolvimentista** e a linha **neodesenvolvimentista**. Enquanto a primeira se mantém fiel às ideias seminais e **rejeita radicalmente o desenvolvimento econômico**, a segunda incorpora vários aspectos da primeira, mas se distancia quando não rejeita radicalmente as pretensões históricas de crescimento econômico, industrialização, redistribuição da riqueza e desenvolvimento econômico com orientação socialista. Para RODRIGUEZ (2016, p. 211) o “socialismo do Bom Viver” não questiona o desenvolvimento nem sua base no crescimento econômico; coloca o problema na distribuição democrática dos benefícios para superar a desigualdade, a injustiça social e melhorar a qualidade de vida da cidadania (Cf. RAMÍREZ, 2010).

A constituição boliviana de 2007, por exemplo, estabelece um programa de nacionalização e industrialização dos recursos naturais e redistribuição da riqueza, diversificando o aparato produtivo, redefinindo o relacionamento com os mercados internacionais

[...] La construcción de un nuevo modelo de desarrollo, de producción y acumulación interna de riqueza, basado en la soberanía de la propiedad y en la industrialización de los recursos naturales para su exportación y uso interno, a la par, debe traducirse en la redistribución de la riqueza nacional obtenida en beneficio de los sectores sociales tradicionalmente excluidos del acceso a los medios productivos y al empleo digno, adecuadamente remunerado y estable, mediante la ampliación y

diversificación del aparato productivo en una matriz, la recuperación del mercado interno y la redefinición de nuestro relacionamiento con los mercados internacionales, siempre en beneficio del país (GACETA OFICIAL, 2007)

Em 2017 o governo boliviano ratifica esta postura e explica que industrializar os recursos hidrocarbonetos é necessário visando

[...] un mayor valor agregado, aspecto que implica un mayor beneficio económico y social para todo el país, constituyendo un paso fundamental para cambiar el patrón primario exportador que ha regido en la historia económica del país. Asimismo, se busca consolidar la nacionalización y la propiedad de las refinerías de petróleo más grandes e importantes a cargo de YPFB y la apropiación y desarrollo tecnológico de los procesos en sus fases de producción, organización y gestión de las empresas para asegurar el abastecimiento de combustibles líquidos, gas natural y otros productos derivados para el mercado interno y la exportación. (GACETA OFICIAL, 2017)

Assim, fica clara a tensão: por um lado a plataforma política anti-neoliberal dos anos 90 incluía propostas ideológicas heterogêneas, incluindo pós-desenvolvimentistas, anti-industrialização e pela manutenção da integridade da natureza e, por outro lado, quando essas plataformas se transformam em governos, mantêm firme a pretensão de transformações econômicas que passam pela industrialização dos recursos naturais, investimentos em infraestrutura, etc. A crítica fica nítida nas palavras de RODRIGUEZ (2016, p. 214)

[...] El Vivir Bien no solo queda relegado a ser una meta de futuro, sino que se le articula con algunos de los puntos de la crítica indígena y del posdesarrollo al desarrollo. Además, al incluirse el carácter redistributivo del Estado se justifica la generación de riqueza vía exportación de materias primas, y peor aún, se invisibilizan las luchas de los movimientos sociales y de los pueblos originarios, por ejemplo, contra la industrialización y mercantilización de la naturaleza

Caberia perguntar, contudo, quais são as possibilidades e desafios para conciliar e resolver estas contradições entre desenvolvimento das forças produtivas atualmente focadas na exportação de recursos naturais, eliminar a pobreza a fome, reduzir desigualdade, etc. e manter a integridade da natureza resgatando e pondo em prática na América Latina rigorosamente a cosmovisão indígena?

Um ponto de partida é reconhecer que *todas* as formações humanas anteriores à ‘modernidade’ (caçadores-coletores, sociedades agrícolas primitivas, grandes impérios, feudais, etc.) têm impactado a integridade, preservação e biodiversidade da natureza em algum grau (Ver capítulo introdutório deste trabalho). Porém, a evidência científica majoritária indica que os impactos se acentuam e adquirem caráter global (Antropoceno) apenas a partir da revolução industrial e da consolidação do capitalismo industrial. Como afirma o ex – prefeito da cidade de Bogotá e candidato a presidente da Colômbia nas eleições de 2018, Gustavo Petro, em entrevista realizada em 2016 por ARELL-BÁEZ para a revista FORBES (2016, tradução nossa) “O grande responsável pela mudança climática é o

capitalismo. O socialismo soviético teria sido também, mas não existe mais. É o capitalismo porque está construído ao redor do petróleo. Quase todas as indústrias dependem dele”. Apesar da inconsistência cronológica sobre a construção do capitalismo ao redor do petróleo na afirmação de Petro⁶⁰, o importante seria indicar que propostas como o *sumak kawsay/suma qamaña* onde se faz um chamado a manter a integridade da natureza e a biodiversidade (ACOSTA, 2012, p. 116; GUDYNAS, 2012, p. 271) extraído da natureza somente o que é preciso, podem ficar seriamente limitadas se não problematizam suas propostas dentro do contexto político e econômico atual dos países da América Latina, que por sua vez estão inseridos em uma dinâmica capitalista global. Qual é a viabilidade no horizonte de médio e longo prazos de que propostas políticas progressistas possam ganhar eleições e, mais difícil ainda, governar somente seguindo os princípios do *sumak Kawsay/suma Gamaña*? Trata-se, parece, de superar a fase de utopia política (necessária, mas não suficiente) que tem caracterizado estas propostas (ESTERMANN, 2012).

Nesta discussão, a exploração de recursos naturais, especialmente os energéticos, está no centro do debate na América Latina. As principais previsões da demanda mundial de energia indicam um crescimento do consumo de energia e de combustíveis fósseis para 2040. Apesar dos avanços das fontes renováveis nos últimos anos, é pouco provável que para essa data os combustíveis fósseis terão perdido sua dominância na matriz energética mundial. Mesmo se um cenário otimista para as renováveis se confirmasse para essa data, ainda assim, provavelmente os fósseis continuariam tendo um peso importante na matriz energética mundial. Sendo assim, o acesso, exploração, industrialização, controle e garantia de fornecimento dos hidrocarbonetos continuará sendo uma atividade econômica decisiva para as economias da América Latina e para a economia mundial, o que garante que continue como tema crucial na agenda geopolítica mundial.

Atualmente, há uma efervescência de movimentos para excluir de vez os hidrocarbonetos da matriz energética mundial como o Movimento de Desinvestimento dos Combustíveis Fósseis (*Fossil Fuel Divestment Movement*) (Cf. ARABELLA ADVISORS, 2016; Cf. AYLING; GUNNINGHAM, 2017) e outras organizações sociais (KEEP IT IN THE GROUND COALITION, 2018; THE SUSTAINABLE ENERGY & ECONOMY NETWORK, 2017). No caso de América Latina encontramos alguns acadêmicos do Bom Viver (ACOSTA, 2012,

⁶⁰ O petróleo torna-se hegemônico na matriz energética mundial só em meados do século XX. Anteriormente o carvão mineral dominava a matriz energética. Portanto, o capitalismo industrial se desenvolveu ao redor do carvão mineral e não ao redor do petróleo. Porém, é inegável que a consolidação do capitalismo contemporâneo está ligada ao petróleo.

2016, GUDYNAS, 2012, 2016) e políticos como Gustavo Petro⁶¹ que estão na linha de deixar os recursos naturais no subsolo. Enquanto em matéria de emissões de GEE evitadas deixar os hidrocarbonetos no subsolo possa ter um impacto positivo, de forma geral, renunciar às indústrias dos hidrocarbonetos e os minérios de forma abrupta seria altamente contraproducente econômica e socialmente no curto e médio prazo para a região (as exportações despencariam, assim como o PIB e o emprego, aumentaria a migração, etc.).

De acordo com os resultados de MEINSHAUSEN et al. (2009), para mantermos com uma chance de sucesso de 75% abaixo da meta de 2 °C acima dos níveis pré-industriais como foi acordado na conferência do clima de 2009 em Copenhague, seria preciso que um pouco mais da metade das reservas economicamente recuperáveis de petróleo, gás e carvão do planeta ficassem no subsolo. Estimativas mais recentes indicam que 33% das reservas de petróleo, 50% das reservas de gás natural e 80% das reservas de carvão mineral deveriam se manter no subsolo entre 2010 e 2050 para conseguir atingir a meta climática dos 2 °C (MCGLADE; EKINS, 2015). Em 2015 a COP 21 em Paris acordou diminuir a meta para 1.5 °C dos níveis pré-industriais (UNFCCC. CONFERENCE OF THE PARTIES (COP), 2015) o que restringe ainda mais o ‘orçamento planetário para queimar carbono’, mas ainda é possível continuar queimando uma parte minoritária do carbono existente no subsolo sem comprometer a meta.

Com base nesta observação, LENFERNA (2017, p. 2, tradução livre) levanta a importante pergunta: como determinamos quais dos combustíveis fósseis remanescentes deveríamos extrair? A resposta do autor é que se aspiramos a uma transição energética mundial justa, os países ricos que têm se beneficiado mais com a extração de combustíveis fósseis e que têm alternativas, recursos financeiros e tecnologia para o seu desenvolvimento econômico deveriam deixar seus combustíveis no subsolo (por exemplo, começar pelo óleo betuminoso de Canadá ou o óleo de águas profundas da Noruega).

Recolocando a pergunta, deveriam ser os países de América Latina, com uma dívida social vigente, recursos financeiros limitados, dívida externa elevada e com uma defasagem importante em matéria de metas de desenvolvimento sustentável, os renunciando aos hidrocarbonetos enquanto países ricos como Noruega, Canadá e Estados Unidos, p.ex., expandem sua exploração de hidrocarbonetos? Aliás, não existiria uma dívida ecológica de

⁶¹ Segundo CUÉLLAR (2018), o candidato a presidente da Colômbia afirmou no Congresso Anual da Associação Colombiana de Petróleo que o petróleo tinha chegado a seu fim e que era hora da Ecopetrol (empresa colombiana de petróleo) deixar sua produção; propôs convertê-la na maior produtora de painéis fotovoltaicos de América Latina.

parte desses países com os países mais pobres, incluindo América Latina (Cf. MARTINEZ-ALIER, 2002)?

O desafio histórico impostergável para os países de América Latina, África, entre outros, continua sendo a superação da pobreza e da fome, o aumento da produtividade do trabalho social, o crescimento econômico acelerado e a distribuição e a redistribuição da riqueza, integração socioeconômica e política entre países e regiões, a redução e superação das culturais, raciais, de gênero, etc. Não somente a mudança climática, o problema ecológico mundial. Até porque a responsabilidade originária e atual desta crise ecológica mundial continua sendo majoritariamente dos países desenvolvidos. Assim como ninguém duvida que exista dívida externa dos países pobres, não deveria haver dúvida que há uma dívida ecológica dos países mais ricos. O próprio Papa Francisco (primeiro Papa latino-americano da história) na Carta Encíclica sobre o cuidado da Casa Comum assinalava em 2015

[...] A dívida externa dos países pobres transformou-se num instrumento de controle, mas não se dá o mesmo com a dívida ecológica. De várias maneiras os povos em vias de desenvolvimento, onde se encontram as reservas mais importantes da biosfera, continuam a alimentar o progresso dos países mais ricos à custa do seu presente e do seu futuro. A terra dos pobres do Sul é rica e pouco contaminada, mas o acesso à propriedade de bens e recursos para satisfazerem as suas carências vitais é-lhes vedado por um sistema de relações comerciais e de propriedade estruturalmente perverso. É necessário que os países desenvolvidos contribuam para resolver esta dívida, limitando significativamente o consumo de energia não renovável e fornecendo recursos aos países mais necessitados para promover políticas e programas de desenvolvimento sustentável. (PAPA FRANCISCO, 2015, p. 42)

Neste sentido, SOVACOOOL e DWORKIN (2014) propõem a aplicação de *Greenhouse Development Rights* (GDR), em que as nações desenvolvidas, responsáveis pela maior parte das emissões acumuladas assumam proporcionalmente os custos associados para combater a mudança climática e forneçam recursos para a transição nos países subdesenvolvidos. De fato, BIERMANN et al. (2012) já tinham proposto uma iniciativa semelhante em termos de uma nova governança global com critérios de justiça ambiental. A dificuldade essencial com estas propostas é como obter a adesão e o cumprimento dos países desenvolvidos (YORK, 2015).

Neste ponto vale lembrar a inédita proposta do governo equatoriano em relação à exploração dos campos de óleo de *Ishpingo Tambococha Tiputini* no Equador, melhor conhecida internacionalmente como a proposta do Yasuní-ITT. A proposta era bastante simples: para não explorar as reservas de petróleo do parque de Yasuní (1 bilhão de barris) a comunidade internacional devia compensar o governo equatoriano com US\$ 3,6 bilhões de dólares (36 US\$ por barril, preço muito inferior ao de mercado nesse momento) que seriam destinados

para programas de desenvolvimento social e ambiental incluindo a promoção de energias renováveis (SOVACOOOL; SCARPACI, 2016).

O resultado foi decepcionante. A proposta conseguiu arrecadar apenas 13 milhões de dólares dos US\$ 3,6 bilhões requeridos (0,3% do total) e foi cancelada depois de quatro anos de vigência em 2013. Atualmente, alguns campos do Yasuní estão sendo explorados, mas o referendun realizado em 2018 estabeleceu reduzir a área de exploração de 1030 hectares a 300 hectares (HISPANTV, 2018). O resultado da iniciativa mostra os limites e possibilidades deste tipo de proposta, especialmente o limitado alcance dos países subdesenvolvidos para conseguir que a comunidade internacional financie projetos de mitigação de mudança climática (SOVACOOOL e SCARPACI, 2016). Vale lembrar que o debate internacional sobre ‘desenvolvimento sustentável’ se instala nas agendas políticas internacionais como uma iniciativa e uma preocupação dos países desenvolvidos décadas atrás (ESTENSSORO, 2014), mas como mostra o caso de Yasuní, há enormes dificuldades em converter discurso em fatos concretos de compensação financeira. Ao contrário, às vezes a análise e as propostas em matéria de mudança climática apresentam manifestações neocoloniais quando sugerem responsabilizar o rápido desenvolvimento dos países pobres pela crise ecológica global (AGARWAL; NARAIN, 1991; BROOKFIELD, 1992) ou levantar dúvidas sobre a soberania absoluta dos países de América do Sul, especialmente do Brasil, da Bacia Amazônica (ARNAULD DE SARTRE; TARAVELLA, 2009).

Se as reservas de óleo do Yasuní no Equador eram de apenas 1 bilhão de barris e não impactavam a oferta mundial de petróleo, os anúncios de 2005 sobre o descobrimento de algo entre 100 e 300 bilhões de barris de petróleo de reservas na camada do pré-sal no Brasil, coloca o Brasil ao lado da Venezuela com 302,2 bilhões de barris de reservas provadas (OPEC, 2016a) e ao lado da Arábia Saudita com 266,2 bilhões de barris (OPEC, 2016b) como os maiores detentores de recursos do planeta (SAUER; RODRIGUES, 2016, p. 197).

O custo de produção estimado do pré-sal é de $\approx$ US\$ 15 por barril e o investimento torna-se atrativo financeiramente com um *breakeven price* médio de US\$ 50 por barril (SAUER; RODRIGUES, 2016, p. 206). De modo geral, o pré-sal é oportunidade para garantir recursos financeiros e econômicos importantes para alavancar políticas de desenvolvimento para a população brasileira sem comprometer as finanças da PETROBRAS (ARAUJO RODRIGUES; LUÍS SAUER, 2015). Adicionalmente, poderia ser um fator de cooperação e integração regional e possibilitaria ao Brasil figurar no rol de exportador de petróleo para o mundo, principalmente para a China (ARAUJO RODRIGUES, 2015), e podendo,

potencialmente, fazer parte do reduzido grupo de países que disputam a coordenação e controle da política energética mundial.

Independentemente da magnitude e da potencial importância do descobrimento do pré-sal para o Brasil e para mundo, alguns analistas do setor energético brasileiro não estão de acordo com esta avaliação, e argumentam em favor de focar os investimentos em biocombustíveis (MOREIRA; PACCA; PARENTE, 2014) ou em renováveis já que “uma euforia exagerada em relação à descoberta de mais petróleo tem de ser evitada, a fim de não levar o país a abandonar recursos e tecnologias que sejam sustentáveis a longo prazo” (GOLDEMBERG, 2009). De fato, estes debates dentro da academia e na mídia, refletem precisamente a importância que tem o petróleo ainda como parâmetro de controle da transição energética. De todo modo, com aproximadamente 400-500 bilhões de barris de reservas provadas de petróleo na América do Sul: 302,3 bilhões de Venezuela + 100-200 bilhões do pré-sal brasileiro + 8.3 bilhões de Equador (OPEC, 2016c), a importância energética e econômica futura dos hidrocarbonetos na região é inegável.

É claro que continuar fortalecendo a dependência da produção e exportação de recursos naturais, especificamente hidrocarbonetos, não garante saída nenhuma do extrativismo e do subdesenvolvimento. O petróleo, combustível que comanda a dinâmica energética mundial, está sujeito a ciclos e volatilidade de preços. Portanto, para que o investimento em hidrocarbonetos possa ser um veículo para emergir do extrativismo, um dos desafios é conseguir impulsionar planos de crescimento econômico e transformação das estruturas econômicas (incluindo na matriz energética regional) e planos de desenvolvimento humano, que consigam se alavancar em períodos de preços elevados e serem robustos e resilientes aos períodos de preços baixos. Isto é, procurar garantir organização e relativo controle interno de economias cada vez menos dependente dos hidrocarbonetos, com flexibilidade e adaptação ante choques externos de preços.

O que foi dito no parágrafo anterior pode parecer uma declaração supérflua para os acadêmicos que estudam a chamada ‘doença holandesa’ e/ou a chamada ‘maldição dos recursos’, mas o que é importante assinalar é que os hidrocarbonetos *per se* não são uma maldição⁶². Fatores institucionais e sociopolíticos e políticas econômicas adequadas são a chave para direcionar a expressiva renda do petróleo no caminho do desenvolvimento econômico, inclusive sustentável.

⁶² Uma análise completa e recente do tema, aplicada principalmente (mas não somente) às economias da antiga União Soviética pode ser encontrada em JONES LUONG e WEINTHAL (2010).

7.2. Industrialização do lítio e mobilidade elétrica

O verdadeiro desafio de América Latina é usar o extrativismo contra o extrativismo. Não é necessário deixar os combustíveis no subsolo para pensar soluções desta natureza. SAUER et al. (2015) exploram as possibilidades de usar os recursos naturais e o potencial energético disponível na Bolívia e no Paraguai *visando mobilidade elétrica na América Latina e no mundo*. O estudo avalia as oportunidades para usar o minério de carbonato de lítio do Salar de Uyuni da Bolívia (maior reserva do mundo) para instalar uma fábrica de produção de baterias elétricas para veículos. Enquanto a produção de baterias poderia ser localizada na Bolívia, uma linha de montagem de veículos poderia ser baseada no Paraguai, em virtude das condições logísticas favoráveis, da enorme disponibilidade de energia hidrelétrica barata de Itaipu/Yacuretá/Salto Grande e da condição de importador de derivados de petróleo e de veículos.

O gás natural da Bolívia, queimado em usinas a ciclo combinado atinge uma eficiência de 50%, pode garantir eletricidade barata para energizar o transporte, reduzindo o peso econômico e político de manter os subsídios aos consumidores finais de combustíveis para transporte⁶³. Os ganhos econômicos conjuntos para ambos países se estimaram em US\$ 2,4 bilhões (US\$ 1,4 bilhões para Bolívia e US\$ 0,99 bilhões para Paraguai) e a redução de emissões em 17.819 Gg de CO₂.

O que a proposta original de SAUER et al. (2015) não previu explicitamente é que a lógica da mobilidade elétrica pode ser estendida para países como Venezuela e para América Central (MEZA; AMADO; SAUER, 2017). No caso venezuelano, a penetração da mobilidade elétrica reduziria o consumo interno de combustíveis altamente subsidiados que afetam a estabilidade financeira da PDVSA e promovem o uso ineficiente de um combustível que pode ser exportado a preço internacional; reduziria os incentivos para a importação de veículos com baixos rendimentos e reduziria as emissões poluentes do setor de transportes. Assim, parte dos recursos poupados poderia ser destinada diretamente subsidiar veículos elétricos importados (presumivelmente de Bolívia). O gás natural venezuelano também pode ser queimado em usinas de ciclo combinado e produzir energia elétrica barata para energizar o transporte. Um dos requerimentos prévios para a mobilidade elétrica em Venezuela seria um

⁶³ Por exemplo, em 2011, o governo boliviano promulgou um decreto para aumentar em 82% os preços da gasolina e do diesel, a fim de diminuir os impactos dos subsídios sobre o orçamento do governo. Por causa de fortes protestos sociais, o decreto foi revogado cinco dias depois (SAUER et al., 2015, p. 921).

plano integrado de recursos para o setor elétrico que garanta uma operação técnica e econômica adequado do setor.

América Central e a maioria dos países caribenhos não têm reservas provadas de combustíveis fósseis e são importadores de petróleo e derivados. Adicionalmente, os recursos energéticos renováveis são pouco explorados na região. América Central está interligada regionalmente por uma linha regional de transmissão de 1.800 km de comprimento de 230 kV, 300 MVA de capacidade, de Guatemala até o Panamá (CRIE, 2017). O primeiro passo para introduzir a mobilidade elétrica seria a consolidação de um mercado elétrico comum centro-americano $\approx$ 100% baseado em fontes renováveis (especialmente geotérmica, com elevado fator de capacidade para atender a base a um custo de geração baixo; eólicas; fotovoltaicas, usinas hidrelétricas convencionais e reversíveis; entre outras)⁶⁴. Uma matriz elétrica renovável abre uma janela de oportunidades para viabilizar a substituição de (a) veículos a combustão interna por veículos elétricos (também presumivelmente importados da Bolívia); (b) lenha e/ou GLP por eletricidade para cocção. Nesse ponto estaríamos à beira de uma descarbonizando total dessas economias⁶⁵.

A proposta exploratória de SAUER et al. (2015) estendida para o resto de América do Sul e para América Central e o Caribe (MEZA; AMADO; SAUER, 2017) poderia converter a região no “farol” da descarbonização no mundo, propiciar a integração de América Latina e contribuir no atendimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Embora esta ideia seja ambiciosa, hoje sabemos por SIEFERLE (2001, p.78-137), que uma condição de possibilidade para o surgimento da revolução industrial na Inglaterra, que posteriormente se expandiu para outras economias do planeta, foi que Inglaterra era o único país do mediterrâneo com recursos de carvão mineral com fácil acesso, fácil exploração e o primeiro da Europa a usar carvão mineral. De forma análoga, o lítio da Bolívia pode ser considerado uma condição de possibilidade para promover a eletrificação da matriz energética regional e posteriormente global. É um recurso estratégico em uma etapa de industrialização inicial na Bolívia, com potencial para atingir uma importância ainda não totalmente dimensionada em escala local, regional e global.

⁶⁴ A matriz elétrica da Costa Rica, por exemplo, é quase 100% renovável (MEZA; AMADO; SAUER, 2017).

⁶⁵ De fato, a capacidade instalada renovável na América Latina, excluindo grandes hidrelétricas, passou de 5 GW no ano 2000 a 35 GW em 2015, com um aumento acelerado da energia eólica na última década (IRENA, 2016).

7.3.Considerações políticas finais

Um programa político genérico pós-combustíveis fósseis e desenvolvimentista (sustentável) deve começar por tentar garantir a soberania sobre todos os recursos naturais e energéticos (renováveis e não renováveis) da região, e a soberania sobre as decisões energéticas. A renda dos recursos naturais deve ser usada para (a) a satisfação das necessidades imediatas das populações empobrecidas (água potável, moradias, energia elétrica, saúde, educação básica, etc.) e, simultaneamente, atacar as fraquezas dos setores produtivos nacionais e executar ações visando desenvolvimento humano amplo; (b) investir em ciência e tecnologia de retorno em médio e longo prazo, especialmente em bolsas para estudos de pós-graduação que permitam construir uma massa crítica de profissionais formados nas melhores instituições educativas do mundo. Essa massa crítica deverá transferir conhecimentos para toda a cadeia educativa dos seus respectivos países, e também aplicar esses conhecimentos, principalmente, em instituições públicas nacionais e regionais. Em uma segunda etapa o investimento em ciência e tecnologia priorizaria o desenvolvimento de indústrias nacionais; (c) investimento em fontes renováveis de energia, inicialmente no mapeamento e avaliação técnica, econômica e socioambiental dos potenciais energéticos disponíveis e sua potencial inserção na matriz energética da região. Posteriormente, investimentos na execução dos projetos e finalmente na produção das tecnologias renováveis. Qualquer tipo de corrupção e ineficiência na administração dos recursos naturais e dos bens públicos em geral deve ser denunciada (Cf. LOPES, 2016 para os escandalosos casos de corrupção na PETROBRAS no Brasil) e combatida. Caso contrário, comprometem-se seriamente os fins e se fornecem insumos para alimentar propostas de privatização e para afastar ou desacreditar o Estado como regulador, promotor e coordenador da atividade econômica.

Outra questão merecedora de profunda análise é que o desenvolvimento sustentável não será um processo rápido, precisará de um tempo considerável de consolidação, que pode demorar décadas. Em termos políticos, isto implica que as políticas e programas dos governos, que visem atender esses objetivos, para ser efetivas e não sofrer regressões, deverão se manter por um período de tempo considerável, preferivelmente, ininterrupto, o que implica desafios políticos e eleitorais para assegurar sua hegemonia. Assim, os benefícios econômicos das atividades econômicas extrativistas deverão ter um componente de curto prazo (estabelecimento das bases para a superação do extrativismo e atenção às demandas sociais imediatas), médio prazo (decolar e consolidação do processo) e longo prazo (superação do

extrativismo e manutenção de alto desenvolvimento humano). Articular estes objetivos, sujeitos aos processos político-eleitorais periódicos (a cada 4-6 anos), é um desafio prático e teórico grande que deve ser assumido, mediante a articulação e incorporação ampla da população ao programa⁶⁶.

⁶⁶ Embora hoje não estejam na pauta da sociedade latino-americana reformas agrária e tributária, não se pode abandonar estas possibilidades devido a que parte da solução para atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável da região passam por reduzir a desigualdade no acesso à terra e à riqueza.

8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ser capaz de fazer fogo queimando biomassa vegetal foi um passo fundamental para a evolução e consolidação do ser humano. Durante centenas de milhares de anos o ser humano foi uma espécie nômade que se agrupava em bandos e dependia da caça e da coleta. Há aproximadamente 10.000 anos surgem as primeiras práticas agrícolas em diferentes pontos do planeta, exigindo uma nova organização para atender as necessidades de sociedades agrícolas sedentárias com populações crescentes. Foi apenas há aproximadamente 250 anos, na Inglaterra do século XVIII, que se inaugura uma nova revolução socioeconômica e energética em grande escala: a revolução industrial. Esta revolução industrial capitalista (expandida posteriormente para grande parte do globo) e seus desdobramentos posteriores (segunda e terceira revoluções industriais), trouxeram consigo fatos inéditos na história humana em relação à organização socioeconômica e ao uso de energia e no planeta. O primeiro é a consolidação de massivas sociedades urbanas industriais com acelerado crescimento econômico. O segundo é que este crescimento é energizado através da queima de estoques de combustíveis fósseis de alta densidade energética controlados e à disposição dos requerimentos sociais. O terceiro é que a emissões de CO₂, derivadas principalmente da queima desses combustíveis fósseis, muito provavelmente estão provocando um impacto global significativo no clima da Terra e nos ecossistemas: desencadeando a era geológica que vem sendo chamada de Antropoceno.

Assim, há décadas o consenso científico alerta regularmente que a economia mundial deve reduzir as emissões de gases de efeito estufa para controlar o incremento da temperatura global, enfrentar as mudanças climáticas e evitar o desenvolvimento de uma crise ecológica global em curso, que mostra tendências de agravamento acelerado. Sobre dois pilares fundamentais têm se sustentado a narrativa e as ações para enfrentar a crise ecológica global (a) na ‘desmaterialização’ da economia usando tecnologias e processos mais eficientes (b) na descarbonização da economia usando fontes energéticas que não emitem CO₂, priorizando as renováveis intermitentes.

Os resultados deste trabalho indicam que não há evidência empírica de um descasamento forte (desmaterialização) entre crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂ na economia global, apesar da crescente capacidade instalada de energias renováveis e das contínuas melhorias em eficiência energética. A julgar pelos padrões observados no passado e

ainda vigentes, não se vislumbra uma ruptura entre crescimento econômico futuro e consumo de energia, especialmente dos países pobres em rápido crescimento.

Partindo deste resultado em escala global, aprofundou-se a análise empírica deste trabalho ao nível individual de todas as economias do planeta com mais de 1 milhão de habitantes. Foram encontradas 4 economias desenvolvidas em todo o mundo que estão com descasamento forte de longo prazo (1970-2016) tanto do uso de energia como das emissões de CO₂: Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e Dinamarca. Exceto para Dinamarca, os resultados mostram que a queda no consumo de energia dessas economias vem **unicamente do setor industrial**, os outros setores, especialmente o setor transporte, cresceram vigorosamente. Assim, procedeu-se a pesquisar os setores industriais desses países, encontrando que os principais indicadores de produção industrial desses países (participação da indústria no PIB, participação do emprego industrial no emprego total e a participação da indústria de cada país na industrial mundial) vêm se deteriorando substancialmente desde a década de 1970. Portanto, embora seja incontestável o aumento da eficiência energética e das fontes renováveis nessas economias nos últimos anos, este trabalho conclui, ainda de forma preliminar, que o principal fator explicativo para esses descasamentos é a expressiva desindustrialização que essas economias vêm experimentando desde 1970 até hoje⁶⁷.

O paradoxo desta conjuntura econômica e energética é que enquanto há uma desindustrialização interna e um protagonismo crescente do setor serviços nessas economias, há também uma aceleração do fluxo de importações de mercadorias produzidas fora das suas fronteiras, especialmente as mercadorias produzidas pela indústria chinesa, altamente dependente de carvão mineral. Assim, quando considerado o impacto do comércio internacional, pesquisas apresentadas neste trabalho apontam que estes países em descasamento são importadores líquidos de energia e emissões de CO₂ embutidas nas mercadorias importadas, tendo a China como líder mundial dessas exportações. Uma hipótese que levanta este trabalho é que incluindo a energia e as emissões embutidas nas mercadorias nas séries temporais de uso de energia e emissões de CO₂, provavelmente o descasamento forte observado seria revertido nessas 4 economias.

Fica claro que mais do que aspirar a uma desmaterialização da economia, é mais viável focar na transição energética global. Por esse ângulo, porém, os combustíveis fósseis (carvão

⁶⁷ Pesquisas quantitativas detalhadas são necessárias para determinar com robustez os determinantes do descasamento dessas economias. O caso da Dinamarca é particularmente interessante porque a redução no consumo de energia também foi registrada no setor residencial.

mineral, petróleo e cada vez mais gás natural) continuam firmemente posicionados no comando da matriz energética mundial. Somente uma abrupta revolução tecnológica e/ou socioeconômica (ou uma catástrofe global) parecem poder desbancar os fósseis no curto e médio prazos. A inserção das fontes renováveis ainda estão sujeitas ao papel da OPEP no controle da produção e dos preços do petróleo. Preços baixos do petróleo afetam a inserção das renováveis porque diminuem sua competitividade econômica (e portanto consolidam o petróleo no médio prazo) e preços elevados do petróleo contribuem para penetração das tecnologias renováveis, mas fortalecem a lucratividade da indústria do petróleo e expandem a exploração de fontes de petróleo e gás não convencionais.

Naturalmente, para descarbonizar a economia mundial haveria também que ir além dos sistemas energéticos e descarbonizar também a agricultura moderna, altamente intensiva no uso de energia fóssil. Foi estudada a proposta de transformar a agricultura convencional moderna para uma agricultura orgânica e os resultados indicam que há potenciais desafios técnicos (produtividade por hectare) e/ou socioeconômicos (indústria dos alimentos com uma estrutura global altamente concentrada, desconhecimento do impacto nos preços, segurança alimentar) que poderiam limitar a viabilidade da agricultura orgânica em larga escala.

Se pensamos em alternativas além das fontes renováveis, existe a opção da repensar a fissão nuclear, que é livre de emissões de gases de efeito estufa na geração de eletricidade. No entanto, é uma tecnologia que vem perdendo cada vez mais espaço e importância devido aos elevados custos e os já conhecidos elevados riscos socioambientais decorrentes da radioatividade. Quanto à fusão nuclear, as perspectivas continuam, depois de décadas, ainda promissoras, mas não parece ser uma opção tecnológica que possa contribuir para as soluções dos problemas deste século: não consegue dar o passo para a implementação comercial depois de décadas e bilhões de dólares investidos em pesquisa e desenvolvimento. Finalmente, as tecnologias de armazenamento e captura ou remoção direta de carbono ganham cada vez mais espaço ante as dificuldades evidentes de descarbonizar a economia mundial na velocidade necessária para atender as metas climáticas. Porém, no caso algumas dessas propostas (como a geoengenharia climática), há um desconhecimento parcial, senão quase completo, dos riscos sobre o planeta, e o princípio de precaução tem sido levado muito em conta até este momento.

No fundo, quando falamos de energizar nossa sociedade do futuro com fontes energéticas como a solar o fotovoltaica, ou propomos geração distribuída, mobilidade com veículos elétricos, energia nuclear ‘limpa’ ou recomendamos uma agricultura orgânica, o que está colocado é a reconstituição do passado: voltar a depender das energias de fluxos (e não de

estoques), retornar aos primeiros dias da indústria elétrica em unidades isoladas (distribuídas), devolver os veículos elétricos à supremacia que perderam no decorrer do início do século XX, resgatar a esperança de um futuro nuclear sem emissões de CO₂, e retornar a uma agricultura prévia à revolução ‘verde’. Isto, de maneira alguma, pretende desmerecer as propostas, mas é importante reconhecer que a transição energética pós-combustíveis fósseis é uma aposta nos perdedores do passado. Portanto, para que a transição se acelere, aquilo que no passado fez destas propostas perdedoras face aos fósseis deve ser eliminado e transformado em vantagem. Assim, as fundações de uma transição energética pós-combustíveis fósseis estão sendo reconstruídas, mas os desafios de curto e médio prazos são significativos. Estamos em um período histórico de gestação do que pode ser o nascimento de uma futura transição energética pós-combustíveis fósseis em escala global. Ainda não parece apropriado, porém, falar de uma ‘revolução renovável imparável’ (CLARK, 2017; ROOM, 2016) com apenas 3,6% da matriz energética mundial atendida em 2016 com fontes renováveis não tradicionais (BP, 2017).

Pelas pesquisas levantadas neste trabalho, as transições energéticas em escala global sempre foram processos de muito longo prazo; esta transição não parece estar sendo a exceção e é recomendável assumir as potenciais consequências deste fato. SIEFERLE (2001) nos lembra que propostas para substituir o carvão mineral pela lenha no setor residencial inglês (alegando problemas socioambientais e estéticos) já existiam desde meados do século XVII (Cf. EVELYN, 1661, 1664), mesmo antes da difusão da máquina a vapor durante a revolução industrial. Para o ano 1700, Tim Nourse publicou um projeto onde estimava os impactos e requerimentos de lenha e terra para substituir o carvão mineral e sugeria um conjunto de políticas públicas para atingir esse objetivo (Cf. NOURSE, 1700). Já no século XIX, o nível de poluição atmosférica da cidade de Manchester era preocupante e tanto os trabalhadores quanto importantes setores da população exigiam intervenção governamental para suprimir e/ou controlar a fumaça produzida pelo próspero setor industrial manufatureiro. Entretanto, a Câmara dos Comuns da Inglaterra decretou que “a supressão [da fumaça] pode afetar materialmente importantes setores da nossa indústria nacional” (MALM, 2016). Em suma, essas experiências passadas nos mostram que os argumentos socioambientais para eliminar o carvão mineral fracassaram ante a força do capital industrial inglês da época.

Enquanto as transições energéticas passadas foram associadas a mudanças revolucionárias na indústria, transporte, comércio, conectividade, comunicação, etc. e tiveram um impacto econômico nitidamente positivo, o navio da transição renovável navega contracorrente

(KANDER; MALANIMA; WARDE, 2013, p. 383), como contracorrente é o cumprimento das metas de emissões no mundo: estima-se em apenas **0,5% as chances** de atingir a meta do acordo de Paris de continuar sem intervenção de políticas públicas em escala global (BOVARI; LECUYER; MC ISAAC, 2018). Em junho de 2017, um grupo importantes de cientistas de todo o mundo afirmou no periódico *Nature*

[...] se as emissões continuarem a subir além de 2020, ou mesmo permanecerem niveladas, as metas de temperatura estabelecidas em Paris tornam-se quase inatingíveis. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU que foram acordados em 2015 também estarão em grave risco se as emissões continuam crescendo (FIGUERES et al., 2017, tradução nossa).

Faltam menos de dois anos para 2020 e em 2017 se registraram os picos máximos históricos tanto em emissões de CO₂ anuais como acumuladas. É esta a declaração definitiva que precisamos para reconhecer que os acordos climáticos fracassaram rotundamente e continuaram fracassando no curto e médio prazos se continuarmos no mesmo rumo? O panorama torna-se ainda mais complexo quando reconhecemos que tanto EUA (líder em emissões acumuladas de gases de efeito estufa ao longo da história e líder em emissões per capita) e a China (líder em emissões anuais totais), não têm como principal preocupação as mudanças climáticas. Sendo assim, e se a situação é altamente crítica e perigosa como é dito, o componente de adaptação e mitigação às mudanças climáticas deve ser colocado no alto escalão de prioridades, especialmente para as regiões mais empobrecidas e vulneráveis do planeta como América Latina e Caribe.

No caso de América Latina e Caribe, a superação do subdesenvolvimento e seus flagelos continua sendo a meta mais importante. Foi mostrado neste trabalho uma proposta para que o desenvolvimento da região seja sustentável (no sentido dos objetivos de desenvolvimento sustentável), usando o potencial e a sinergia entre recursos renováveis (hidro, eólico, geotérmico, solar, etc.) e também não renováveis (hidrocarbonetos, lítio, entre outros) para financiar uma transformação das matrizes produtivas (incluído o setor elétrico) conectada com políticas de desenvolvimento humano, e promover a eletrificação do transporte usando o lítio boliviano para produção de baterias. É utópico pensar, nas coordenadas do capitalismo contemporâneo e sua ordem geopolítica vigente, que todos os países ricos (historicamente responsáveis pela crise ecológica global) vão a reduzir voluntária e harmoniosamente a escala de suas economias (decreçam) e vão transferir os conhecimentos, a tecnologia e os recursos

financeiros para acelerar a transição energética e permitir o desenvolvimento sustentável nas regiões mais empobrecidas do planeta⁶⁸.

De acordo com ABRAMOVAY (2012) é preciso uma nova economia mundial; e BADIOU (2016) nos convida a procurar uma nova visão estratégica para o destino coletivo da humanidade como tal. Embora com um menor alcance, pode-se afirmar que o funcionamento do neoliberalismo atual, que estende a lógica do capital para todas as relações sociais e para todas as esferas da vida (DARDOT; LAVAL, 2016, p.7) é incompatível com os objetivos de desenvolvimento sustentável e limita as possibilidades de acelerar uma transição energética que exige como condição necessária, mas não suficiente, a intervenção, regulação e coordenação direta dos Estados em metas que vão muito além da lógica do capital. As críticas ao funcionamento da economia capitalista contemporânea são numerosas e continuam a se acumular, inclusive no plano da representação teórica ortodoxa das relações entre Economia e Natureza.

⁶⁸ Porém, não deixa de ser uma proposta política com bases históricas e científicas incontestáveis.

ANEXOS

A. Teste de tendência de Spearman para crescimento econômico. América. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ARGENTINA	1970-2015	46	0.67	0.33	PIB per capita real crescente
2	BOLIVIA	1970-2015	46	0.57	0.33	PIB per capita real crescente
3	BRAZIL	1970-2015	46	0.97	0.33	PIB per capita real crescente
4	CANADA	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
5	CHILE	1970-2015	46	0.97	0.33	PIB per capita real crescente
6	COLOMBIA	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
7	COSTA RICA	1970-2015	46	0.95	0.33	PIB per capita real crescente
8	CUBA	1970-2015	46	0.73	0.33	PIB per capita real crescente
9	DOMINICAN REPUBLIC	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
10	ECUADOR	1970-2015	46	0.94	0.33	PIB per capita real crescente
11	EEUU	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
12	EL SALVADOR	1970-2015	46	0.69	0.33	PIB per capita real crescente
13	GUATEMALA	1970-2015	46	0.81	0.33	PIB per capita real crescente
14	HAITI*	1996-2015	20	-0.58	0.51	Não há tendência crescente no PIB per capita real
15	HONDURAS	1970-2015	46	0.90	0.33	PIB per capita real crescente
16	JAMAICA	1970-2015	46	0.53	0.33	PIB per capita real crescente
17	MÉXICO	1970-2015	46	0.94	0.33	PIB per capita real crescente
18	NICARAGUA*	1970-2015	46	-0.38	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
19	PANAMA	1970-2015	46	0.95	0.33	PIB per capita real crescente
20	PARAGUAY	1970-2015	46	0.92	0.33	PIB per capita real crescente
21	PERU*	1970-2015	46	0.32	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
22	PUERTO RICO	1970-2015	46	0.95	0.33	PIB per capita real crescente
23	TRINIDAD & TOBAGO	1970-2015	46	0.63	0.33	PIB per capita real crescente
24	URUGUAY	1970-2015	46	0.94	0.33	PIB per capita real crescente
25	VENEZUELA*	1970-2014	45	-0.25	0.34	Não há tendência crescente no PIB per capita real

B. Teste de tendência de Spearman para crescimento econômico. Oceania. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	AUSTRALIA	1970-2015	46	0.997	0.33	PIB per capita real crescente
3	FIJI	1970-2015	46	0.920	0.33	PIB per capita real crescente
2	NEW ZELAND	1977-2015	39	0.968	0.36	PIB per capita real crescente
4	PAPUA NEW GUINEA	1970-2014	45	0.583	0.34	PIB per capita real crescente

C. Teste de tendência de Spearman para crescimento econômico: Europa. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ALBANIA	1980-2015	36	0.725	0.38	PIB per capita real crescente
2	AUSTRIA	1970-2015	46	0.994	0.33	PIB per capita real crescente
3	BELGIUM	1970-2015	46	0.992	0.33	PIB per capita real crescente
4	BOSNIA AND HERZEGOVINA	1994-2015	22	0.988	0.49	PIB per capita real crescente
5	BULGARIA	1980-2015	36	0.882	0.38	PIB per capita real crescente
6	CROATIA	1995-2015	21	0.847	0.50	PIB per capita real crescente
7	CYPRUS	1975-2015	41	0.933	0.35	PIB per capita real crescente
8	CZECH REPUBLIC	1992-2015	26	0.946	0.45	PIB per capita real crescente
9	DENMARK	1970-2015	46	0.981	0.33	PIB per capita real crescente
10	FINLAND	1970-2015	46	0.970	0.33	PIB per capita real crescente
11	FRANCE	1970-2015	46	0.992	0.33	PIB per capita real crescente
12	GERMANY	1970-2015	46	0.998	0.33	PIB per capita real crescente
13	GREECE	1970-2015	46	0.918	0.33	PIB per capita real crescente
14	HUNGARY	1991-2015	25	0.941	0.46	PIB per capita real crescente
15	IRELAND	1970-2015	46	0.977	0.33	PIB per capita real crescente
16	ITALY	1970-2015	46	0.915	0.33	PIB per capita real crescente
17	MACEDONIA	1990-2015	26	0.809	0.45	PIB per capita real crescente
18	NETHERLANDS	1970-2015	46	0.987	0.33	PIB per capita real crescente
19	NORWAY	1970-2015	46	0.983	0.33	PIB per capita real crescente
20	POLAND	1990-2015	26	0.996	0.45	PIB per capita real crescente
21	PORTUGAL	1970-2015	46	0.954	0.33	PIB per capita real crescente
22	ROMANIA	1990-2015	26	0.921	0.45	PIB per capita real crescente
23	SLOVAK REPUBLIC	1992-2015	24	0.995	0.47	PIB per capita real crescente
24	SLOVENIA	1995-2015	21	0.871	0.50	PIB per capita real crescente
25	SPAIN	1970-2015	46	0.959	0.33	PIB per capita real crescente
26	SWEDEN	1970-2015	46	0.988	0.33	PIB per capita real crescente
27	SWITZERLAND	1970-2015	36	0.970	0.38	PIB per capita real crescente
28	TURKEY	1970-2015	46	0.986	0.33	PIB per capita real crescente
29	UNITED KINGDOM	1970-2015	46	0.986	0.33	PIB per capita real crescente

D. Teste de tendência de Spearman para crescimento econômico: Ásia. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	AFGHANISTAN	2002-2015	14	0.95	0.53	PIB per capita real crescente
2	ARMENIA	1990-2015	26	0.90	0.39	PIB per capita real crescente
3	AZERBAIJAN	1990-2015	26	0.77	0.45	PIB per capita real crescente
4	BAHRAIN	1980-2015	36	0.56	0.38	PIB per capita real crescente
5	BANGLADESH	1970-2015	46	0.96	0.33	PIB per capita real crescente
6	BIRMANIA/MYANMAR	1970-2015	46	0.94	0.33	PIB per capita real crescente
7	CAMBODIA	1993-2015	23	1.00	0.42	PIB per capita real crescente
8	CHINA	1970-2015	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
9	GEORGIA*	1970-2015	46	-0.21	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
10	INDIA	1970-2015	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
11	INDONESIA	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
12	IRAN*	1970-2014	45	-0.09	0.34	Não há tendência crescente no PIB per capita real
13	IRAQ	1970-2015	46	0.81	0.33	PIB per capita real crescente
14	ISRAEL	1970-2015	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
15	JAPAN	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
16	JORDAN	1975-2015	41	0.63	0.35	PIB per capita real crescente
17	KAZAKHSTAN	1990-2015	26	0.86	0.39	PIB per capita real crescente
18	KOREA, REP.	1970-2016	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
19	KUWAIT*	1995-2015	21	-0.24	0.44	Não há tendência crescente no PIB per capita real
20	KYRGYZ REPUBLIC*	1986-2015	30	0.05	0.36	Não há tendência crescente no PIB per capita real
21	LAO PDR	1984-2015	32	0.99	0.40	PIB per capita real crescente
22	LEBANON	1988-2015	28	0.81	0.38	PIB per capita real crescente
23	MALAYSIA	1970-2015	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
24	MONGOLIA	1981-2015	35	0.72	0.38	PIB per capita real crescente
25	NEPAL	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
26	OMAN	1970-2015	46	0.89	0.33	PIB per capita real crescente
27	PAKISTÁN	1970-2015	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
28	PHILIPINAS	1970-2015	46	0.76	0.33	PIB per capita real crescente
29	QATAR	2000-2015	16	0.91	0.50	PIB per capita real crescente
30	RUSSIAN FEDERATION	1989-2015	27	0.68	0.38	PIB per capita real crescente
31	SAUDI ARABIA*	1970-2015	46	-0.25	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
32	SINGAPORE	1970-2015	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
33	SRI LANKA	1970-2017	46	1.00	0.33	PIB per capita real crescente
34	TAJIKISTAN*	1985-2015	31	-0.20	0.41	Não há tendência crescente no PIB per capita real
35	THAILAND	1970-2015	46	0.99	0.33	PIB per capita real crescente
36	TIMOR LESTE	1999-2015	17	0.82	0.49	PIB per capita real crescente

37	TURKMENISTAN	1987-2015	29	0.59	0.37	PIB per capita real crescente
	UNITED ARAB					
38	EMIRATES*	1975-2015	41	-0.92	0.35	Não há tendência crescente no PIB per capita real
39	UZBEKISTAN	1992-2015	29	0.94	0.37	PIB per capita real crescente
40	VIETNAM	1984-2015	32	1.00	0.40	PIB per capita real crescente
41	YEMEN	1990-2015	26	0.54	0.39	PIB per capita real crescente

E. Teste de tendência de Spearman para crescimento econômico: África. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ANGOLA	1985-2015	31	0.507	0.41	PIB per capita real crescente
2	ARGELIA	1970-2015	46	0.737	0.33	PIB per capita real crescente
3	BENIN	1970-2015	46	0.918	0.33	PIB per capita real crescente
4	BOTSWANA	1970-2015	46	0.998	0.33	PIB per capita real crescente
5	BURKINA FASO	1970-2015	46	0.991	0.33	PIB per capita real crescente
6	BURUNDI*	1970-2015	46	-0.662	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
7	CAMERON*	1970-2015	46	0.210	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
8	CENTRAL AFRICAN REPUBLIC*	1970-2015	46	-0.812	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
9	CHAD	1970-2015	46	0.441	0.33	PIB per capita real crescente
10	CONGO, REP.	1970-2015	46	0.527	0.33	PIB per capita real crescente
11	COTE D'IVOIRE*	1970-2015	46	-0.861	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
12	EGYPT, ARAB REP.	1970-2015	46	0.995	0.33	PIB per capita real crescente
13	EQUATORIAL GUINEA	1980-2015	36	0.894	0.38	PIB per capita real crescente
14	ERITREA*	1992-2011	20	-0.245	0.51	Não há tendência crescente no PIB per capita real
15	ETHIOPIA	1981-2015	35	0.529	0.38	PIB per capita real crescente
16	GABON*	1970-2015	46	-0.391	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
17	GAMBIA*	1970-2015	46	0.286	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
18	GHANA	1970-2015	46	0.531	0.33	PIB per capita real crescente
19	GUINEA	1986-2015	30	0.973	0.42	PIB per capita real crescente
20	GUINEA-BISAU*	1970-2015	46	0.109	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
21	KENYA	1970-2015	46	0.697	0.33	PIB per capita real crescente
22	LESOTO	1970-2015	46	0.988	0.33	PIB per capita real crescente
23	LIBERIA*	1970-2015	46	-0.748	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
24	LIBYA*	1999-2011	13	0.505	0.65	Não há tendência crescente no PIB per capita real
25	MAGADASCAR*	1970-2015	46	-0.913	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
26	MALAWI	1970-2015	46	0.567	0.33	PIB per capita real crescente

27	MALI	1970-2015	46	0.975	0.33	PIB per capita real crescente
28	MAURITANIA*	1970-2014	45	-0.086	0.34	Não há tendência crescente no PIB per capita real
29	MAURITUS	1976-2015	40	0.991	0.36	PIB per capita real crescente
30	MOROCCO	1970-2015	46	0.996	0.33	PIB per capita real crescente
31	MOZAMBIQUE	1980-2015	36	0.904	0.38	PIB per capita real crescente
32	NAMIBIA	1980-2015	36	0.588	0.38	PIB per capita real crescente
33	NIGER*	1970-2015	46	-0.772	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
34	NIGERIA* POPULAR REP. OF	1970-2015	46	0.233	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
35	CONGO*	1970-2015	46	-0.875	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
36	RWANDA	1970-2015	46	0.589	0.33	PIB per capita real crescente
37	SENEGAL*	1970-2015	46	0.178	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
38	SIERRA LEONE*	1970-2015	46	-0.444	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
39	SOUTH AFRICA	1970-2015	46	0.343	0.33	PIB per capita real crescente
40	SOUTH SUDAN*	2008-2015	8	-0.833	0.85	Não há tendência crescente no PIB per capita real
41	SUDAN	1970-2015	46	0.812	0.33	PIB per capita real crescente
42	SWAZILAND	1970-2015	46	0.990	0.33	PIB per capita real crescente
43	TANZANIA	1988-2015	28	0.913	0.43	PIB per capita real crescente
44	TOGO*	1970-2015	46	-0.719	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
45	TUNICIA	1970-2015	46	0.996	0.33	PIB per capita real crescente
46	UGANDA	1982-2015	34	0.967	0.39	PIB per capita real crescente
47	ZAMBIA*	1970-2015	46	-0.158	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real
48	ZIMBAWE*	1970-2015	46	-0.614	0.33	Não há tendência crescente no PIB per capita real

F. Teste de tendência de Spearman para uso decrescente de energia: América. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ARGENTINA	1971-2014	44	0.920	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
2	BOLIVIA	1971-2014	44	0.917	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
3	BRAZIL	1971-2014	44	0.970	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
4	CANADA	1970-2015	46	0.710	-0.33	Não há decrescimento no uso per capita de energia
5	CHILE	1971-2015	45	0.925	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
6	COLOMBIA	1971-2014	44	0.410	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
7	COSTA RICA	1971-2014	44	0.924	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
8	CUBA*	1970-2014	44	-0.681	-0.34	Decrescimento no uso per capita de energia
9	DOM.REPUBLIC	1971-2014	44	0.723	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
10	ECUADOR	1971-2014	44	0.893	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
11	EEUU*	1970-2016	46	-0.427	-0.33	Decrescimento no uso per capita de energia
12	EL SALVADOR	1971-2014	44	0.730	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
13	GUATEMALA	1971-2014	44	0.997	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
14	HONDURAS	1971-2014	44	0.546	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
15	JAMAICA	1971-2014	44	0.154	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
16	MEXICO	1971-2015	45	0.896	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
17	NICARAGUA	1971-2014	44	0.359	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
18	PANAMA	1971-2014	44	0.113	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
19	PARAGUAY	1971-2014	44	0.741	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
20	PERU	1971-2014	44	-0.314	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
21	TRIN. & TOB.	1971-2014	44	0.987	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
22	URUGUAY	1971-2014	44	0.485	-0.34	Não há decrescimento no uso per capita de energia
23	VENEZUELA	1971-2013	43	0.725	-0.35	Não há decrescimento no uso per capita de energia

G. Teste de tendência de Spearman para uso decrescente de energia: Oceania. Nível de confiança de 97,5%.

Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
AUSTRALIA	1970-2015	46	0.915	-0.33	Não há decrescimento no uso per capita de energia
NEW ZELAND	1977-2015	39	0.875	-0.36	Não há decrescimento no uso per capita de energia
FIJI		SEM INFORMAÇÃO			
PAPUA NEW GUINEA		SEM INFORMAÇÃO			

H. Teste de tendência de Spearman para uso decrescente de energia: Europa. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ALBANIA	1980-2014	35	-0.380	-0.385	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
2	AUSTRIA	1970-2015	46	0.946	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
3	BELGIUM	1970-2015	46	0.679	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
4	BOSNIA AND HERZEGOVINA	1994-2014	21	0.987	-0.50	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
5	BULGARIA*	1980-2014	35	-0.660	-0.38	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
6	CROATIA	1995-2014	20	0.513	-0.51	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
7	CYPRUS	1975-2014	40	0.794	-0.36	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
8	CZECH REPUBLIC	1990-2015	26	-0.214	-0.45	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
9	DENMARK*	1970-2015	46	-0.505	-0.33	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
10	FINLAND	1970-2015	46	0.887	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
11	FRANCE	1970-2016	46	0.764	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
12	GERMANY*	1970-2015	46	-0.501	-0.33	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
13	GREECE	1970-2015	46	0.891	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
14	HUNGARY	1991-2015	25	-0.162	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
15	IRELAND	1970-2016	46	0.815	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
16	ITALY	1970-2016	46	0.814	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
17	MACEDONIA	1990-2014	25	0.332	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
18	NETHERLANDS	1970-2016	46	0.514	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
19	NORWAY	1970-2016	46	0.941	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
20	POLAND	1990-2015	26	-0.231	-0.45	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
21	PORTUGAL	1970-2015	46	0.892	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
22	ROMANIA*	1990-2014	25	-0.705	-0.46	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
23	SLOVAK REPUBLIC	1992-2015	24	-0.427	-0.47	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
24	SLOVENIA	1995-2015	21	0.558	-0.50	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
25	SPAIN	1970-2015	46	0.889	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia

26	SWEDEN	1970-2015	46	0.428	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
27	SWITZERLAND	1980-2015	36	0.021	-0.38	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
28	TURKEY	1970-2015	46	0.987	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
29	UNITED KINGDOM*	1970-2015	46	-0.360	-0.33	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia

I. Teste de tendência de Spearman para uso decrescente de energia: Ásia. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	W_p	Decisão
1	ARMENIA	1990-2014	25	0.30	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
2	AZERBAIJAN*	1990-2014	25	-0.58	-0.46	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
3	BAHRAIN	1980-2014	35	0.40	-0.38	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
4	BANGLADESH	1971-2014	44	1.00	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
5	BIRMANIA/MYANMAR	1971-2014	44	0.21	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
6	CAMBODIA	1995-2014	20	0.48	-0.51	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
7	CHINA	1971-2014	44	1.00	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
8	GEORGIA	1990-2014	25	-0.13	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
9	INDIA	1971-2014	44	1.00	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
10	INDONESIA	1971-2014	44	1.00	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
11	IRAN	1971-2014	44	0.99	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
12	IRAQ	1971-2014	44	0.70	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
13	ISRAEL	1971-2015	45	0.87	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
14	JAPAN	1970-2015	46	0.76	-0.33	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
15	JORDAN	1975-2014	40	0.92	-0.36	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
16	KAZAKHSTAN	1990-2014	25	0.21	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
17	KOREA, REP.	1971-2015	45	1.00	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
18	KUWAIT	1995-2014	20	0.46	-0.51	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
19	KYRGYZ REPUBLIC	1990-2014	25	-0.21	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
20	LEBANON	1988-2014	27	0.33	-0.44	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
21	MALAYSIA	1971-2014	44	0.99	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
22	MONGOLIA	1985-2014	30	-0.07	-0.42	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
23	NEPAL	1971-2014	44	0.98	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
24	OMAN	1971-2014	44	0.98	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
25	PAKISTÁN	1971-2014	44	0.97	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
26	PHILIPINAS	1971-2014	44	0.20	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
27	QATAR	2000-2014	15	-0.34	-0.60	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia

28	RUSSIAN FEDERATION	1990-2014	25	0.14	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
29	SAUDI ARABIA	1971-2014	44	0.97	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
30	SINGAPORE	1971-2014	44	0.81	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
31	SRI LANKA	1971-2014	44	0.96	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
32	TAJIKISTAN*	1990-2014	25	-0.87	-0.46	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
33	THAILAND	1971-2014	44	0.99	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
34	TURKMENISTAN	1990-2014	25	0.73	-0.46	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
35	UNITED ARAB EMIRATES	1975-2014	40	0.16	-0.36	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
36	UZBEKISTAN*	1990-2013	24	-0.87	-0.47	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
37	VIETNAM	1984-2013	30	0.96	-0.42	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
38	YEMEN	1990-2013	24	0.77	-0.47	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia

J. Teste de tendência de Spearman para uso decrescente de energia: África. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ALGERIA	1971-2014	44	0.945	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
2	ANGOLA	1985-2014	30	0.361	-0.42	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
3	BENIN	1971-2014	44	-0.106	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
4	BOTSWANA	1981-2014	34	0.910	-0.39	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
5	CAMERON*	1971-2014	44	-0.518	-0.34	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
6	CONGO, REP.	1971-2014	44	-0.058	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
7	COTE D'IVOIRE	1971-2014	44	0.337	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
8	EGYPT, ARAB REP.	1971-2014	44	0.984	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
9	ERITREA*	1992-2011	20	-0.908	-0.51	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
10	ETHIOPIA	1981-2014	34	0.919	-0.39	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
11	GABON	1971-2014	44	0.185	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
12	GHANA*	1971-2014	44	-0.487	-0.34	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
13	KENYA	1971-2014	44	0.238	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
14	LIBYA	1971-2014	44	0.796	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
15	MAURITUS	1976-2014	39	0.968	-0.36	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
16	MOROCCO	1971-2014	44	0.996	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
17	MOZAMBIQUE*	1980-2014	35	-0.570	-0.38	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
18	NAMIBIA	1991-2014	24	0.949	-0.47	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
19	NIGER	2000-2014	15	0.189	-0.60	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
20	NIGERIA	1971-2014	44	0.940	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
21	POPULAR REP. OF CONGO*	1971-2014	44	-0.388	-0.34	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
22	SENEGAL	1971-2014	44	-0.170	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
23	SOUTH AFRICA	1971-2014	44	0.717	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
24	SUDAN	1971-2013	43	0.997	-0.35	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
25	TANZANIA	1988-2014	27	0.867	-0.44	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
26	TOGO	1971-2014	44	0.835	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia
27	TUNICIA	1971-2014	44	0.991	-0.34	Não há tendência decrescente no uso per capita de energia

28	ZAMBIA*	1971-2013	43	-0.923	-0.35	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia
29	ZIMBAWE*	1971-2013	43	-0.886	-0.35	Há uma tendência decrescente no uso per capita de energia

K. Teste de tendência de Spearman para decrescimento das emissões de CO₂: América. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ARGENTINA	1970-2013	44	0.51	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
2	BOLIVIA	1970-2013	44	0.83	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
3	BRAZIL	1970-2013	44	0.89	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
4	CANADA*	1970-2013	44	-0.42	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
5	CHILE	1970-2013	44	0.76	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
6	COLOMBIA	1970-2013	44	0.22	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
7	COSTA RICA	1970-2013	44	0.87	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
8	CUBA	1970-2013	44	-0.07	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
9	DOMINICAN REPUBLIC	1970-2013	44	0.88	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
10	ECUADOR	1970-2013	44	0.73	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
11	EEUU*	1970-2013	44	-0.67	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
12	EL SALVADOR	1970-2013	44	0.86	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
13	GUATEMALA	1970-2013	44	0.80	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
14	HAITI	1970-2013	44	0.83	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
15	HONDURAS	1970-2013	44	0.83	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
16	JAMAICA	1970-2013	44	0.00	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
17	MEXICO	1970-2013	44	0.65	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
18	NICARAGUA	1970-2013	44	0.45	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
19	PANAMA	1970-2013	44	0.54	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
20	PARAGUAY	1970-2013	44	0.88	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
21	PERU	1970-2013	44	0.03	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
22	TRINIDAD AND TOBAGO	1970-2013	44	0.86	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
23	URUGUAY	1970-2013	44	0.09	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
24	VENEZUELA	1970-2013	44	0.75	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2

L. Teste de tendência de Spearman para decrescimento das emissões de CO₂: Oceania. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	AUSTRALIA	1970-2013	44	0.902	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
2	FIJI	1970-2013	44	0.318	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
3	NEW ZELAND	1970-2013	44	0.802	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
4	PAPUA NEW GUINEA	1970-2013	44	0.561	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2

M. Teste de tendência de Spearman para decrescimento das emissões de CO₂: Europa. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ALBANIA	1980-2013	34	- 0.38	-0.39	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
2	AUSTRIA	1970-2013	44	0.90	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
3	BELGIUM*	1970-2013	44	- 0.78	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
4	BOSNIA AND HERZEGOVINA	1992-2013	22	0.94	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
5	BULGARIA*	1980-2013	34	- 0.74	-0.39	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
6	CROATIA	1992-2013	22	0.60	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
7	CYPRUS	1970-2013	44	0.88	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
8	CZECH REPUBLIC*	1992-2013	22	- 0.87	-0.49	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
9	DENMARK*	1970-2013	44	- 0.75	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
10	FINLAND	1970-2013	44	0.27	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
11	FRANCE*	1970-2013	44	- 0.94	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
12	GERMANY*	1991-2013	23	- 0.97	-0.48	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
13	GREECE	1970-2013	44	0.86	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
14	HUNGARY*	1991-2013	44	- 0.85	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
15	IRELAND	1970-2013	44	0.73	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
16	ITALY	1970-2013	44	0.59	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
17	MACEDONIA*	1992-2013	22	- 0.65	-0.49	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
18	NETHERLANDS*	1970-2013	44	- 0.46	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
19	NORWAY	1970-2013	44	0.54	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
20	POLAND*	1990-2013	44	- 0.66	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
21	PORTUGAL	1970-2013	44	0.84	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
22	ROMANIA*	1990-2013	44	- 0.77	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
23	SLOVAK REPUBLIC*	1992-2013	22	- 0.90	-0.49	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
24	SLOVENIA	1992-2013	22	0.30	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
25	SPAIN	1970-2013	44	0.75	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
26	SWEDEN*	1970-2013	44	- 0.95	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2

27	SWITZERLAND*	1970-2013	44	- 0.92	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
28	TURKEY	1970-2013	44	0.99	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
29	UNITED KINGDOM*	1970-2013	44	- 0.96	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2

N. Teste de tendência de Spearman para decrescimento das emissões de CO₂: Ásia. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	AFGHANISTAN	1970-2013	44	-0.110	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
2	ARMENIA	1992-2013	22	0.770	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
3	AZERBAIYAN*	1992-2013	22	-0.512	-0.49	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
4	BAHRAIN	1970-2013	44	0.212	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
5	BANGLADESH	1972-2013	42	0.997	-0.35	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
6	BIRMANIA/MYANMAR	1970-2013	44	0.615	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
7	CAMBODIA	1970-2013	44	0.901	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
8	CHINA	1970-2013	44	0.992	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
9	GEORGIA	1992-2013	22	0.327	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
10	INDIA	1970-2013	44	0.999	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
11	INDONESIA	1970-2013	44	0.991	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
12	IRAN	1970-2013	44	0.760	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
13	IRAQ	1970-2013	44	0.517	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
14	ISRAEL	1970-2013	44	0.833	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
15	JAPAN	1970-2013	44	0.813	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
16	JORDAN	1970-2013	44	0.910	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
17	KAZAKHSTAN	1992-2013	22	0.379	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
18	KOREA, REP.	1970-2013	44	0.995	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
19	KUWAIT	1995-2013	19	-0.304	-0.53	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
20	KYRGYZ REPUBLIC	1992-2013	22	0.088	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
21	LAO PDR	1970-2013	44	0.530	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
22	LEBANON	1988-2013	26	0.376	-0.45	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
23	MALAYSIA	1970-2013	44	0.986	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
24	MONGOLIA	1970-2013	44	0.568	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
25	NEPAL	1970-2013	44	0.948	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
26	OMAN	1970-2013	44	0.826	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2

27	PAKISTÁN	1970-2013	44	0.973	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
28	PHILIPINAS	1970-2013	44	0.619	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
29	QATAR	1970-2013	44	-0.251	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
30	RUSSIAN FEDERATION	1992-2013	22	0.327	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
31	SAUDI ARABIA	1970-2013	44	0.535	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
32	SINGAPORE	1970-2013	44	-0.294	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
33	SRI LANKA	1970-2013	44	0.829	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
34	TAJIKISTAN	1992-2013	22	-0.450	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
35	THAILAND	1970-2013	44	0.993	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
36	TURKMENISTAN	1992-2013	22	0.905	-0.49	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
37	UNITED ARAB EMIRATES*	1970-2013	44	-0.881	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
38	UZBEKISTAN*	1992-2013	22	-0.785	-0.49	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
39	VIETNAM	1970-2013	44	0.913	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
40	YEMEN	1970-2013	44	0.800	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2

O. Teste de tendência de Spearman para decrescimento das emissões de CO₂: África. Nível de confiança de 97,5%.

Número de países	Países	Período de análise	n	ρ	Wp	Decisão
1	ANGOLA	1970-2013	44	0.510	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
2	BENIN	1970-2013	44	0.932	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
3	BOTSWANA	1972-2013	42	0.911	-0.35	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
4	BURKINA FASO	1970-2013	44	0.908	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
5	CAMERON	1970-2013	44	0.356	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
6	CENTRAL AFRICAN REPUBLIC	1970-2013	44	-0.057	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
7	CONGO, REP.	1970-2013	44	-0.234	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
8	COTE D'IVOIRE*	1970-2013	44	-0.728	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
9	EGYPT, ARAB REP.	1970-2013	44	0.982	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
10	ERITREA*	1994-2011	18	-0.841	-0.54	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
11	ETHIOPIA	1970-2013	44	0.679	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
12	GAMBIA	1970-2013	44	0.556	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
13	GUINEA	1970-2013	44	-0.294	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
14	GUINEA-BISAU	1970-2013	44	0.120	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
15	KENYA	1970-2013	44	-0.237	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
16	LESOTO	2005-2013	9	0.883	-0.79	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
17	LIBERIA*	1970-2013	44	-0.738	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
18	MALAWI*	1970-2013	44	-0.545	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
19	MAURITUS	1970-2013	44	0.931	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
20	MOROCCO	1970-2013	44	0.993	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
21	MOZAMBIQUE	1980-2013	44	0.060	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
22	NAMIBIA	1990-2013	24	0.833	-0.47	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
23	NIGER	1970-2013	44	-0.085	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
24	NIGERIA*	1970-2013	44	-0.422	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
25	SENEGAL	1970-2013	44	0.298	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
26	SIERRA LEONE*	1970-2013	44	-0.611	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2

27	SOMALIA*	2000-2013	14	-0.829	-0.62	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
28	SOUTH AFRICA	1970-2013	44	0.571	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
29	SUDAN	1970-2013	44	-0.019	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
30	SWAZILAND	1970-2013	44	0.452	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
31	TANZANIA	1970-2013	44	-0.021	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
32	TOGO	1970-2013	44	0.743	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
33	TUNICIA	1970-2013	44	0.986	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
34	UGANDA	1970-2013	44	0.123	-0.34	Não há decrescimento nas emissões per capita de CO2
35	ZAMBIA*	1970-2013	44	-0.916	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2
36	ZIMBAWE*	1970-2013	44	-0.769	-0.34	Decrescimento nas emissões per capita de CO2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABILDGREN, K. Trends in real wages in Denmark since the Late Middle Ages. **Historical Methods**, v. 50, n. 2, p. 67–78, 2017.

ABRAMOVAY, R. **Muito Além da Economia Verde**. Sao Paulo: Editora Abril S.A., 2012.

ACOSTA, A. Extractivismo e neoextractivismo: dos caras de la misma maldición. In: **Mas allá del Desarrollo**. Quito: Grupo Permanente de Trabajo sobre Alternativas al Desarrollo, Fundación Rosa Luxemburgo, 2012. p. 83–118.

ACOSTA, A. Maldiciones, herejías y otros milagros de la economía extractivista. **Tabula Rasa**, n. 24, p. 25–55, 2016.

AGARWAL, A.; NARAIN, S. **Global warming in an unequal world: a case of environmental colonialism**. New Delhi: Centre for Science and Environment, 1991.

AGUILERA, R. F. Production costs of global conventional and unconventional petroleum. **Energy Policy**, v. 64, p. 134–140, 2014.

AIELLO, L. C.; WHEELER, P. The Expensive-Tissue Hypothesis: The Brain and the Digestive System in Human and Primate Evolution. **Current Anthropology**, v. 36, n. 2, p. 199–221, 1995.

AKBILGIC, O. et al. A meta-analysis of carbon capture and storage technology assessments: Understanding the driving factors of variability in cost estimates. **Applied Energy**, v. 159, p. 11–18, 1 dez. 2015.

AL-NAIMI, A. **Out of the desert. My journey from the Nomadic Bedouin to the Heart of Global Oil**. Great Britain: Penguin Random House UK, 2016.

AMADO, N. B. **O papel dos recursos naturais na reprodução do processo econômico: contribuição à crítica ecológica do capitalismo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 16 dez. 2010.

AMADO, N. B.; MEZA, C. G.; SAUER, I. L. **Análise Teórica e Empírica do Indicador Elasticidade de Substituição na Avaliação da Sustentabilidade Forte e Fraca**. X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. **Anais...** Gramado: 2016 Disponível em: <http://dedalus.usp.br/F/F64UT3LRV4XP794CK6NYME55LEVP5NEC7YDS8PJ6GKTXJYLJ1K-00940?func=full-set-set&set_number=001467&set_entry=000001&format=999>

AMADO, N. B.; MEZA, C. G.; SAUER, I. L. Testing Alternative Models in Sustainability Economics: Baumol versus Georgescu-Roegen. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, n. 1, p. 9–21, 24 dez. 2017.

AMADO, N. B.; SAUER, I. L. An ecological economic interpretation of the Jevons effect. **Ecological Complexity**, v. 9, p. 2–9, 2012.

AMINU, M. D. et al. A review of developments in carbon dioxide storage. **Applied Energy**, v. 208, n. August, p. 1389–1419, 2017.

ANDERSON, K.; BOWS, A. A new paradigm for climate change. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 9, p. 639–640, 1 set. 2012.

ANDERSON, P. **Passagens da antiguidade ao feudalismo**. 3era. ed. Sao Paulo: Editora Brasiliense, 1991.

ANDERSSON, F. N. G. International trade and carbon emissions: The role of Chinese institutional and policy reforms. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 29–39, 2018.

APERGIS, N. et al. On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. **Ecological Economics**, v. 69, n. 11, p. 2255–2260, 15 set. 2010.

ARABELLA ADVISORS. **The Global Fossil Fuel Divestment and Clean Energy Investment Movement**, 2016. Disponível em: <https://www.arabellaadvisors.com/wp-content/uploads/2016/12/Global_Divestment_Report_2016.pdf>

ARAUJO RODRIGUES, L.; LUÍS SAUER, I. Exploratory assessment of the economic gains of a pre-salt oil field in Brazil. **Energy Policy**, v. 87, p. 486–495, 2015.

ARCE, G.; LÓPEZ, L. A.; GUAN, D. Carbon emissions embodied in international trade: The post-China era. **Applied Energy**, v. 184, p. 1063–1072, 2016.

ARCHER, D. The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate. In: **Science Essentials**. [s.l.] Princeton University Press, 2010. p. 1–193.

ARELL-BÁEZ, A. Gustavo Petro, en pie de lucha contra el cambio climático. **FORBES**, 19 set. 2016.

ARNAULD DE SARTRE, X.; TARAVELLA, R. National sovereignty vs. sustainable development lessons from the narrative on the internationalization of the Brazilian Amazon.

Political Geography, v. 28, n. 7, p. 406–415, 2009.

ARVIZU, D. **Fulfilling the Promise of Renewable Energy: A Look at the Future**, 2005. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/38345.pdf>>

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 6, p. 67–80, 2002.

AUERBACH, R.; RUNDGREN, G.; EL-HAGE SCIALABBA, N. **Organic Agriculture: African Experiences in Resilience and Sustainability** Rome, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3294e/i3294e.pdf>>

AUTOR, D. H. et al. **Importing political polarization? The electoral consequences of rising trade exposure** Cambridge, 2017. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w22637.pdf>>

AUTOR, D. H.; DORN, D.; HANSON, G. H. The China Syndrome: Local labor market impacts of import Competition in the United States. **American Economic Review**, v. 103, n. 6, p. 2121–2168, 2013.

AYLING, J.; GUNNINGHAM, N. Non-state governance and climate policy: the fossil fuel divestment movement. **Climate Policy**, v. 17, n. 2, p. 131–149, 2017.

AYRES, R.; VOUDOURIS, V. The economic growth enigma: Capital, labour and useful energy? **Energy Policy**, v. 64, p. 16–28, 2014.

BADGLEY, C. et al. Organic agriculture and the global food supply. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 22, n. 2, p. 86–108, 2007.

BADIOU, A. General Introduction to the Seul Conference. In: ŽIŽEK, SLAVOJ , TAEK-GWANG, A. (Ed.). **The idea of communism 3. The Seoul Conference**. 1. ed. London: Verso, 2016. p. 10–11.

BAHLAI, C. A. et al. Choosing Organic Pesticides over Synthetic Pesticides May Not Effectively Mitigate Environmental Risk in Soybeans. **PLoS ONE**, v. 5, n. 6, p. e11250, 22 jun. 2010.

BANDYOPADHYAY, R.; PATIÑO-ECHEVERRI, D. An alternate wind power integration mechanism: Coal plants with flexible amine-based CCS. **Renewable Energy**, v. 85, p. 704–713, 1 jan. 2016.

BARAŃSKI, M. et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower

incidence of pesticide residues in organically grown crops: A systematic literature review and meta-analyses. **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 5, p. 794–811, 2014.

BARBOSE, G. **US Renewables Portfolio Standards: 2017 Annual Status Report. 2017.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://emp.lbl.gov/sites/default/files/2017-annual-rps-summary-report.pdf>>.

BARKER, T.; DAGOUMAS, A.; RUBIN, J. The macroeconomic rebound effect and the world economy. **Energy Efficiency**, v. 2, n. 4, p. 411–427, 2009.

BARKER, T.; SCRIECIU, S. S.; FOXON, T. Achieving the G8 50% target: modelling induced and accelerated technological change using the macro-econometric model E3MG. **Climate Policy**, v. 8, n. sup1, p. S30–S45, jan. 2008.

BARNHART, C. J. et al. The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity. **Energy and Environmental Science**, v. 6, n. 10, p. 2804–2810, 2013.

BAUMOL, W. J. On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources. **Kyklos**, v. 39, n. 2, p. 167–179, maio 1986.

BEN JEBLI, M.; BEN YOUSSEF, S.; OZTURK, I. Testing environmental Kuznets curve hypothesis: The role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 824–831, 1 jan. 2016.

BEWICK, R.; SANCHEZ, J. P.; MCINNES, C. R. The feasibility of using an L 1 positioned dust cloud as a method of space-based geoengineering. **Advances in Space Research**, v. 49, n. 7, p. 1212–1228, 2012.

BICALHO, T. et al. LCA data quality: A management science perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 888–898, jul. 2017.

BICALHO, T.; BESSOU, C.; PACCA, S. A. Land use change within EU sustainability criteria for biofuels: The case of oil palm expansion in the Brazilian Amazon. **Renewable Energy**, v. 89, p. 588–597, 2016.

BIERMANN, F. et al. Navigating the Anthropocene: Improving Earth System Governance. **Science**, v. 335, n. 6074, p. 1306–1307, 16 mar. 2012.

BILGILI, F.; KOÇAK, E.; BULUT, Ü. The dynamic impact of renewable energy consumption on CO2 emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p. 838–845, 1 fev. 2016.

BINSWANGER, M. Why does income growth fail to make us happier? Searching for the treadmills behind the paradox of happiness. **Journal of Socio-Economics**, v. 35, n. 2, p. 366–381, 2006.

BINSWANGER, M. Is there a growth imperative in capitalist economies? a circular flow perspective. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 31, n. 4, p. 707–727, 2009.

BINSWANGER, M. The growth imperative revisited: A rejoinder to Gilányi and Johnson. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 37, n. 4, p. 648–660, 2015.

BIVENS, J.; MISHEL, L. Understanding the Historic Divergence Between Productivity and a Typical Worker's Pay. **Economic Policy Institute**, v. 4, n. Reports on Inequality, 2015.

BOLD et al. **Maddison Project Database, version 2018. Rebasing “Maddison”: new income comparisons and the shape of long-run economic development** Groningen University of Groningen, , 2018. Disponível em: <<https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-project-database-2018>>

BORTOLAMEDI, M. Accounting for hidden energy dependency: The impact of energy embodied in traded goods on cross-country energy security assessments. **Energy**, v. 93, p. 1361–1372, 2015.

BOSERUP, E. The Impact of Scarcity and Plenty on Development. **The Journal of Interdisciplinary History**, v. 14, n. 2, p. 383–407, 1983.

BOUVIER, A.; WADHWA, M. The age of the Solar System redefined by the oldest Pb–Pb age of a meteoritic inclusion. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 9, p. 637–641, 22 set. 2010.

BOVARI, E.; LECUYER, O.; MC ISAAC, F. Debt and damages: What are the chances of staying under the 2°C warming threshold? **International Economics**, 2018.

BP. **Statistical Review of World Energy 2017**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/excel/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-underpinning-data.xlsx>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

BRANDT, A. R. et al. Energy return on investment (EROI) for forty global oilfields using a detailed engineering-based model of oil production. **PLoS ONE**, v. 10, n. 12, p. 1–18, 2015.

BRAUN, E. From Transistor to Microprocessor. In: FORESTER, T. (Ed.). . **The microelectronics Revolution**. Oxford: Basil Blackwell, 1980. p. 72–82.

BRENNER, R. **La economía de la turbulencia global. Las economías capitalistas avanzadas de la larga expansión al largo declive, 1945-2005**. Madrid: AKAL, 2009.

BRIDLE, R.; KITSON, L. **The Impact of Fossil-Fuel Subsidies on Renewable Electricity Generation**, 2014. Disponível em: <<http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/impact-fossil-fuel-subsidies-renewable-electricity-generation.pdf>>

BROOKFIELD, H. “Environmental colonialism”, tropical deforestation, and concerns other than global warming. **Global Environmental Change**, v. 2, n. 2, p. 93–96, 1992.

BRYCE, R. We Won’t Always Have Paris. **National Review**, 31 maio 2017.

BUREAU OF THE CENSUS. **Historical Statistics of the United States. Colonial times to 1970. Part 1**. Washington, D.C, 1975. Disponível em: <https://fraser.stlouisfed.org/files/docs/publications/histstatus/hstat1970_cen_1975_v1.pdf>

BURKE, P. J.; CSEREKLYEI, Z. Understanding the energy-GDP elasticity: A sectoral approach. **Energy Economics**, v. 58, p. 199–210, ago. 2016.

BURKE, P. J.; SHAHIDUZZAMAN, M.; STERN, D. I. Carbon dioxide emissions in the short run: The rate and sources of economic growth matter. **Global Environmental Change**, v. 33, p. 109–121, 2015.

CABAL, H. et al. Fusion power in a future low carbon global electricity system. **Energy Strategy Reviews**, v. 15, p. 1–8, 2017.

CALDEIRA, K.; DAVIS, S. J. Accounting for carbon dioxide emissions: A matter of time. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 21, p. 8533–8534, 2011.

CALDEIRA, K.; JAIN, A. K.; HOFFERT, M. I. Climate sensitivity uncertainty and the need for energy without CO2 emission. **Science**, v. 299, n. 5615, p. 2052–2054, 2003.

CAMERON, R.; NEAL, H. **A concise economic history of the world. From Paleolithic times to the present**. Fourth ed. New York: Oxford University Press, 2003.

CARNEIRO, R. L. **A Reappraisal of the Roles of Technology and Organization in the Origin of Civilization** *American Antiquity*, 1974.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede. A era da informação: economia, sociedade e**

cultura. Sao Paulo: Editora Paz e Terra, S.A., 1999.

CECHIN, A.; PACINI, H. Economia verde: por que o otimismo deve ser aliado ao ceticismo da razão. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 121–136, 2012.

CHAGAS, A. P. A síntese da amônia: Alguns aspectos históricos. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 240–247, 2007.

CHAPMAN, I. The end of Peak Oil? Why this topic is still relevant despite recent denials. **Energy Policy**, v. 64, p. 93–101, 2014.

CHEN, B. et al. Global energy flows embodied in international trade: A combination of environmentally extended input–output analysis and complex network analysis. **Applied Energy**, v. 210, n. July 2017, p. 98–107, 2018.

CHEN, Z. M.; CHEN, G. Q. An overview of energy consumption of the globalized world economy. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5920–5928, 2011.

CHIANG, A. **Matemática para economistas**. Sao Paulo: Universidade de Sao Paulo, 1982.

CHUNG, T. S.; PATIÑO-ECHEVERRI, D.; JOHNSON, T. L. Expert assessments of retrofitting coal-fired power plants with carbon dioxide capture technologies. **Energy Policy**, v. 39, n. 9, p. 5609–5620, set. 2011.

CLARK, G. **A farewell to alms: a brief economic history of the world**. Princeton: Princeton University Press, 2007.

CLARK, P. **The Big Green Bang: how renewable energy became unstoppable** **The Financial Times**, 18 maio 2017. Disponível em: <<https://www.ft.com/content/44ed7e90-3960-11e7-ac89-b01cc67cfeec>>. Acesso em: 25 jan. 2018

CONCA, J. Why Aren't Renewables Decreasing Germany's Carbon Emissions? **FORBES**, 10 out. 2017.

CONNOR, D. J. Organic agriculture cannot feed the world. **Field Crops Research**, v. 106, n. 2, p. 187–190, 2008.

CONNOR, D. J. Organically grown crops do not a cropping system make and nor can organic agriculture nearly feed the world. **Field Crops Research**, v. 144, p. 145–147, 2013.

COSTA, C. et al. Is organic farming safer to farmers' health? A comparison between organic and traditional farming. **Toxicology Letters**, v. 230, n. 2, p. 166–176, 2014.

- COURT, V.; FIZAINE, F. Long-Term Estimates of the Energy-Return-on-Investment (EROI) of Coal, Oil, and Gas Global Productions. **Ecological Economics**, v. 138, p. 145–159, 1 ago. 2017.
- CRADDOCK, P. T. From Hearth to Furnace: Evidences for the Earliest Metal Smelting Technologies in the Eastern Mediterranean. **Paléorient**, v. 26, n. 2, p. 151–165, 2000.
- CRIE. **SIEPAC**. Disponível em: <<http://crie.org.gt/wp/siepac/>>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- CROWDER, D. W.; REGANOLD, J. P. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 24, p. 7611–7616, 2015.
- CSEREKLYEI, Z.; STERN, D. I. Global energy use: Decoupling or convergence? **Energy Economics**, v. 51, 2015.
- CUÉLLAR, A. El profesor Petro. **Semana**, 2018.
- DA VEIGA, J. **Para entender o desenvolvimento sustentável**. 1era. ed. Sao Paulo: Editora 34, 2015.
- DA VEIGA, J. Fantasias antropocênicas. **Valor**, 2017.
- DAHLBERG, F. **Women the gatherer**. New Heaven: Yale University Press, 1981.
- DALY, H. E. Georgescu-Roegen versus Solow / Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 269–270, 1997a.
- DALY, H. E. Reply to Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 271–273, 1 set. 1997b.
- DALY, H. E.; TOWNSEND, K. N. Sustainable Growth: An Impossibility Theorem. In: **Valuing the earth: Economics, ecology, ethics**. 2. ed. [s.l.] The MIT Press, 1993. p. 267–271.
- DARDOT, P.; LAVAL, C. **A nova razão do mundo. Ensaio sobre a sociedade neoliberal**. Sao Paulo: Boitempo Editorial, 2016.
- DARWIN, C. **The descent of man and selection in relation to sex**. [s.l.] Murray, 1888.
- DAVIS, S. J.; PETERS, G. P.; CALDEIRA, K. The supply chain of CO2 emissions. **Pnas**, v. 108, n. 45, p. 18554–18559, 2011.
- DE CARVALHO, C. M. Strategic Environmental Assessment for Sustainable Expansion of

Palm Oil Biofuels in Brazilian North Region. **Energy & Environment**, v. 22, n. 5, p. 565–572, 2011.

DE CARVALHO, J. F.; MERCEDES, S. S. P.; SAUER, I. L. Precautionary principle, economic and energy systems and social equity. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 5399–5402, 2010.

DELMAS, M.; LIM, J.; NAIRN-BIRCH, N. Corporate Environmental Performance and Lobbying. **Academy of Management Discoveries**, v. 2, n. 2, p. 175–197, 1 jun. 2016.

DEMARIA, F. et al. What is degrowth? from an activist slogan to a social movement. **Environmental Values**, v. 22, n. 2, p. 191–215, 2013.

DIAMOND, J. Trump says US will impose steel and aluminum tariffs. **CNN Politics**, 2018.

DIAMOND, J.; BELLWOOD, P. **Farmers and their languages: The first expansions** Science, 2003.

DICECIO, R. **Relative Price of Investment Goods (PIRIC). 1947-2015**. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org/series/PIRIC>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

DORLING, D. **Inequality and the 1%**. 1. ed. London: Verso, 2015.

DU, H. et al. CO2 emissions embodied in China-US trade: Input-output analysis based on the emergy/dollar ratio. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5980–5987, 2011.

EDWARDS, Z. Boon or bane: Examining divergent development outcomes among oil- and mineral-dependent countries in the Global South. **International Journal of Comparative Sociology**, v. 58, n. 4, p. 304–332, 2017.

EIA. **Annual Energy Outlook. With projections to 2035**. Washington, D.C, 2012. Disponível em: <[https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2012\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2012).pdf)>

EIA. **International data**, 2017. Disponível em: <<https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/>>. Acesso em: 15 out. 2017

ENGELS, F. **El origen de la familia, la propiedad privada y el Estado**. 4ta. ed. Moscú: Editorial Progreso, 1884.

ESCOBAR, A. **Encountering Development: the making and unmaking of the third world**. Princeton: Princeton University Press, 1995.

ESTENSSORO, F. **Historia del debate ambiental en la política mundial, 1945-1992: La**

perspectiva latinoamericana. Santiago de Chile: Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Santiago de Chile, 2014.

ESTERMANN, J. **“Vivir bien” como utopía política. La concepción andina del “vivir bien” (suma qamaña/allin kawsay) y su aplicación en el socialismo democrático en Bolivia.** Anales de la Reunión Anual de Etnología 24. **Anais...**2012

EVELYN, J. **Fumifugium, or The Inconveniencie of the Aer and Smoak of London dissipated**London, 1661.

EVELYN, J. **Sylva, or a Discourse of Forest-Trees, and the Propagation of Timber**London, 1664.

FACHIN, P. América Latina - qual está sendo e será o papel dos seus países na descarbonização mundial. Entrevista especial com Carlos Germán. **REVISTA IHU ONLINE**, set. 2017.

FAO. **Agricultura “inteligente” a nivel energético para evitar la dependencia de los combustibles fósiles.** Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/es/item/95220/icode/>>. Acesso em: 4 fev. 2018.

FAO. **The State of Agricultural Commodity Markets. Trade and Food Security: Achieving a Better Balance Between National Priorities and the Collective Good**FAO, , 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5090e.pdf>>

FAO. World hunger again on the rise, driven by conflict and climate change, new UN report says. **NEWS ARTICLE**, set. 2017.

FARIA, R. et al. A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system. **Energy Conversion and Management**, v. 61, p. 19–30, set. 2012.

FELIPE, J.; MEHTA, A. Deindustrialization? A global perspective. **Economics Letters**, v. 149, p. 148–151, 2016.

FELIX, B. Electricity investment overtakes oil, gas for first time ever in 2016: IEA. **REUTERS**, 11 jul. 2017.

FERRONI, F.; GUEKOS, A.; HOPKIRK, R. J. Further considerations to: Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation. **Energy Policy**, v. 107, n. March, p. 498–505, 2017.

FERRONI, F.; HOPKIRK, R. J. Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic

solar systems in regions of moderate insolation. **Energy Policy**, v. 94, 2016.

FIGUERES, C. et al. Three years to safeguard our climate. **Nature**, v. 546, n. 7660, p. 593–595, 28 jun. 2017.

FIORITO, G. Can we use the energy intensity indicator to study “decoupling” in modern economies? **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 465–473, 1 maio 2013.

FISCHER, W. et al. German energy policy and the way to sustainability: Five controversial issues in the debate on the “Energiewende”. **Energy**, v. 115, p. 1580–1591, 2016.

FOUQUET, R. The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 6586–6596, 1 nov. 2010.

FOUQUET, R. Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation. **Energy Research and Social Science**, v. 22, p. 7–12, 2016.

FOUQUET, R.; PEARSON, P. J. G. A thousand years of energy use in the United Kingdom. **Energy Journal**, v. 19, n. 4, p. 1–41, 1998.

FRAUNHOFER ISE. **Annual electricity import and export of Germany**. Disponível em: <<https://www.energy-charts.de/energy.htm?source=import-export&period=annual&year=2018>>. Acesso em: 6 fev. 2018.

FU, Y.; LIU, X.; YUAN, Z. Life-cycle assessment of multi-crystalline photovoltaic (PV) systems in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 180–190, 1 jan. 2015.

G20. **G20 Leaders’ Communique. Hangzhou Summit** Hangzhou, 2016. Disponível em: <https://www.g20.org/profiles/g20/modules/custom/g20_beverly/img/timeline/China/2016-09-04-g20-comunique-en.pdf>

GACETA OFICIAL. **Plan Nacional de Desarrollo “Bolivia digna, soberana, productiva y democrática para Vivir Bien”. Lineamientos Estratégicos 2006-2011** Estado Plurinacional de Bolivia, 2007.

GACETA OFICIAL. **PLAN NACIONAL DE DESARROLLO** Bolivia, 2017. Disponível em: <<http://www.derechoteca.com/gacetabolivia/decreto-supremo-29272-del-12-septiembre-2007/>>

GALES, B. et al. North versus South: Energy transition and energy intensity in Europe over 200 years. **European Review of Economic History**, v. 11, n. 2, p. 219–253, 1 ago. 2007.

GARCÍA-OLIVARES, A. et al. A global renewable mix with proven technologies and

common materials. **Energy Policy**, v. 41, p. 561–574, 2012.

GASIM, A. A. The embodied energy in trade: What role does specialization play? **Energy Policy**, v. 86, p. 186–197, 2015.

GAUTHIER, T. Detecting Trends Using Spearman's Rank Correlation Coefficient. **Environmental Forensics**, v. 2, n. 4, p. 359–362, dez. 2001.

GEORGE, A. **Let's come clean about dirty cooking**. Disponível em: <<http://blogs.worldbank.org/energy/lets-come-clean-about-dirty-cooking>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K. **The Biofuel delusion. The fallacy of Large-Scale Agro-biofuel production**. 1st. ed. London; Washington, DC: Earthscan, 2009.

GIL-ALANA, L. A. A re-examination of historical real daily wages in England: 1260-1994. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, n. 7, p. 829–838, 2005.

GISCHLER, C. et al. **The Energy Sector in Belize**, 2014. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6742/The-Energy-Sector-in-Belize.pdf?sequence=1>>

GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security : The Challenge of. v. 327, n. February, p. 812–818, 2010.

GOLDEMBERG, J. Pré-sal e desenvolvimento sustentável. **EcoDebate**, set. 2009.

GOLDEMBERG, J. Gás de xisto, uma nova revolução energética? Artigo de José Goldemberg. **Revista IHU On-line**, 21 maio 2013.

GOLDEMBERG, J.; SIQUEIRA PRADO, L. T. The decline of sectorial components of the world's energy intensity. **Energy Policy**, v. 54, p. 62–65, 1 mar. 2013.

GOMIERO, T. Are biofuels an effective and viable energy strategy for industrialized societies? A reasoned overview of potentials and limits. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 7, p. 8491–8521, 2015.

GOMIERO, T. Agriculture and degrowth: State of the art and assessment of organic and biotech-based agriculture from a degrowth perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 2050, 2016.

GOMIERO, T. Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: Findings and issues. **Applied Soil Ecology**, n. October, p. 0–1, 2017.

- GORDON, M.; ROSENTHAL, J. Capitalism's growth imperative. **Cambridge Journal of Economics**, v. 27, n. 1, p. 25–48, 1 jan. 2003.
- GOWDY, J.; KRALL, L. The economic origins of ultrasociality. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 39, p. e92, 27 abr. 2016.
- GREENFIELD, A. **Radical technologies: the design of everyday life**. London: Verso, 2017.
- GRIFFITHS, B. et al. **Federal Financial Support for Electricity Generation Technologies** Texas, 2017. Disponível em: <https://live-energy-institute.pantheonsite.io/sites/default/files/UTAustin_FCe_Subsidies_2017_June.pdf>
- GRUBLER, A.; WILSON, C.; NEMET, G. Apples, oranges, and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, v. 22, p. 18–25, 2016.
- GUAN, D. et al. Journey to world top emitter: An analysis of the driving forces of China's recent CO2 emissions surge. **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. 4, p. 1–5, 2009.
- GUDYNAS, E. Sentidos , opciones y ámbitos de las transiciones al postextractivismo. In: LANG, M.; MOKRANI, D. (Eds.). . **Mas allá del Desarrollo**. Quito: Grupo Permanente de Trabajo sobre Alternativas al Desarrollo, Fundación Rosa Luxemburgo, 2012. p. 265–268.
- GUDYNAS, E. El petróleo es el excremento del diablo. Demonios, Satanes y Herejes en los extractivismos. **Tabula Rasa**, n. 24, p. 145–167, 2016.
- GUO, J.; ZHANG, Z.; MENG, L. China's provincial CO2 emissions embodied in international and interprovincial trade. **Energy Policy**, v. 42, p. 486–497, 2012.
- GUPTA, A. K. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early Holocene climate amelioration. **Current Science**, v. 87, n. 1, p. 54–59, 2004.
- GUTHRIE, R. D. Rapid body size decline in Alaskan Pleistocene horses before extinction. **Nature**, v. 426, n. 6963, p. 169–171, 2003.
- HAJKO, V. The failure of Energy-Economy Nexus: A meta-analysis of 104 studies. **Energy**, v. 125, p. 771–787, abr. 2017.
- HALL, C. A. S. Will EROI be the Primary Determinant of Our Economic Future? The View of the Natural Scientist versus the Economist. **Joule**, v. 1, n. 4, p. 635–638, dez. 2017.
- HALL, C. A. S.; KLITGAARD, K. A. **Energy and the Wealth of Nations**. New York, NY: Springer New York, 2012.

- HALL, C. A. S.; LAMBERT, J. G.; BALOGH, S. B. EROI of different fuels and the implications for society. **Energy Policy**, v. 64, p. 141–152, jan. 2014.
- HARDY, C. Renewable energy and role of Marykirk's James Blyth. **The Courier**, jul. 2006.
- HARVARD UNIVERSITY. **Harvard's Solar Geoengineering Research Program**. Disponível em: <<https://geoengineering.environment.harvard.edu>>. Acesso em: 11 fev. 2018.
- HARVEY, D. **O NOVO IMPERIALISMO**. 2a. ed. Sao Paulo: Edições Loyola, 2005.
- HARVEY, D. **OS LIMITES DO CAPITAL**. 1era. ed. Sao Paulo: Boitempo Editorial, 2013.
- HEILBRONER, R. **A formação da sociedade econômica**. 4ta. ed. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1979.
- HENCKENS, M. L. C. M. et al. Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. **Resources Policy**, v. 49, p. 102–111, 1 set. 2016.
- HENCKENS, M. L. C. M.; DRIESSEN, P. P. J.; WORRELL, E. Metal scarcity and sustainability, analyzing the necessity to reduce the extraction of scarce metals. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 93, p. 1–8, 2014.
- HERGOVICH, P.; MERZ, M. **The Price of Capital , Factor Substitutability and Corporate Profits** Vienna, 2018. Disponível em: <<http://homepage.univie.ac.at/Papers/Econ/RePEc/vie/viennp/vie1801.pdf>>
- HIGOUNET, C. Les forêts de l'Europe occidentale du Ve au XIe siècle. In: **Agricoltura e mondo rurale in Occidente nell'alto Medioevo**. Spoleto: CISAM, 1966.
- HISPANTV. Conozca en una infografía resultados del referéndum en Ecuador. **Ecuador**, 7 fev. 2018.
- HUBBERT, M. K. Nuclear Energy and the Fossil Fuels. **Drilling and Production Practices**, n. 95, p. 1–57, 1956.
- HUGHES, J. D.; THIRGOOD, J. V. Deforestation, Erosion, and Forest Management in Ancient Greece and Rome. **Forest & Conservation History**, v. 26, n. 2, p. 60–75, abr. 1982.
- IEA et al. **“Joint report by IEA, OPEC, OECD and World Bank on fossil-fuel and other energy subsidies: An update of the G20 Pittsburgh and Toronto Commitments”**, 2011. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/49090716.pdf>>
- IEA. Global energy-related emissions of carbon dioxide stalled in 2014. **Newsroom**, 13 mar.

2015.

IEA. Decoupling of global emissions and economic growth confirmed. **International Energy Agency**, 16 mar. 2016.

IEA. **Digitalization & Energy**, 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf>>

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Operational & Long-Term Shutdown Reactors**. Disponível em: <<https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Resources to Reserves 2013**. Paris: OECD Publishing, 2013.

INVESTING. **Carbon emissions. Historical Data**. Disponível em: <<https://www.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

IPCC. Summary for Policymakers. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Ed.). . **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 1–33.

IRENA. Latin America's Renewable Energy Market Analysis. **Articles**, 2016.

IRRIGATION ASSOCIATION. Irrigation Museum. 2018.

JACKSON, R. B. et al. Warning signs for stabilizing global CO₂ emissions. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 11, p. 110202, 2017.

JACKSON, T. **Prosperity without growth? The transition to a sustainable economy**, 2009. Disponível em: <http://happymuseumproject.org/wp-content/uploads/2013/02/Prosperity_without_growth_report.pdf>

JACKSON, T. **BEYOND CONSUMER CAPITALISM—FOUNDATIONS FOR A SUSTAINABLE PROSPERITY**: 2397-8341.Guildford, 2016. Disponível em: <<http://www.cusp.ac.uk/wp-content/uploads/WP02-TJ-2016-Beyond-consumer-capitalism.pdf>>

- JACKSON, T.; VICTOR, P. A. Does credit create a “growth imperative”? A quasi-stationary economy with interest-bearing debt. **Ecological Economics**, v. 120, p. 32–48, 2015.
- JACKSON, T.; VICTOR, P. A. Does slow growth lead to rising inequality? Some theoretical reflections and numerical simulations. **Ecological Economics**, v. 121, p. 206–219, 2016.
- JACOBSON, M. Z.; DELUCCHI, M. A. A Path to Sustainable Energy by 2030. **Scientific American**, v. 301, n. 5, p. 58–65, nov. 2009.
- JAKAB, É. Property Rights in Ancient Rome. In: **Ownership and Exploitation of Land and Natural Resources in the Roman World**. [s.l.] Oxford University Press, 2015. p. 107–131.
- JENSEN, J. B.; QUINN, D. P.; WEYMOUTH, S. Winners and losers in international trade: The effects on US presidential voting. **International Organization**, v. 71, n. 3, p. 423–457, 2017.
- JEVONS, S. **The Coal Question: An Enquiry Concerning the Progress of the Nation and the probable Exhaustion of Our Coal-Mines**. 2nd. ed. London: Macmillan, 1866.
- JEWELL, J. et al. Limited emission reductions from fuel subsidy removal except in energy-exporting regions. **Nature**, v. 554, n. 7691, p. 229–233, 7 fev. 2018.
- JIN, S. W. et al. The potential role of carbon capture and storage technology in sustainable electric-power systems under multiple uncertainties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, n. October 2016, p. 467–480, 2017.
- JOINT CENTER FOR HISTORY AND ECONOMICS; MIT RESEARCH GROUP. **National Energy Accounts: Data**. Disponível em: <http://histecon.fas.harvard.edu/energyhistory/energydata_beta.html>. Acesso em: 28 jan. 2018.
- JONES, P.; WEINTHAL, E. **Oil is Not Curse. Ownership structure and institutions in Soviet Successor States**. New York: Cambridge University Press, 2010.
- JUDSON, O. P. The energy expansions of evolution. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 6, p. 1–9, 2017.
- KAIJSER, A. Tensiones y utopías: las políticas ambientales bolivianas bajo el mandato de Evo Morales. **Ecología política**, n. 51, p. 66–72, 2016.
- KALLIS, G. In defence of degrowth. **Ecological Economics**, v. 70, n. 5, p. 873–880, 15 mar. 2011.

KALLIS, G.; DEMARIA, F.; D'ALISA, G. Introduction. In: **Degrowth: A vocabulary for a new era**. London: Routledge, 2014.

KANDER, A.; MALANIMA, P.; WARDE, P. **Power to the people. Energy in Europe over the Last Five Centuries**. Oxford: Princeton University Press, 2013.

KEEP IT IN THE GROUND COALITION. **The Sky's Limit: No New Fossil Fuel Development**. Disponível em: <<http://keepitintheground.org/#read-the-letter>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

KERRY TURNER, R. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz: Meadows: a pluralistic and interdisciplinary perspective. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 299–302, 1 set. 1997.

KEYSER, P. T. The Purpose of the Parthian Galvanic Cells: A First-Century A. D. Electric Battery Used for Analgesia. **Journal of Near Eastern Studies**, v. 52, n. 2, p. 81–98, abr. 1993.

KHARPAL, A. Stephen Hawking says humans must colonize another planet in 100 years or face extinction. **CNBC**, 5 maio 2017.

KIMURA, F.; CHANG, M. S. Industrialization and poverty reduction in East Asia: Internal labor movements matter. **Journal of Asian Economics**, v. 48, p. 23–37, 2017.

KNAUT, A. et al. The reference forecast of the German energy transition-An outlook on electricity markets. **Energy Policy**, v. 92, p. 477–491, 2016.

LAMBERT, J. G. et al. Energy, EROI and quality of life. **Energy Policy**, v. 64, p. 153–167, 2014.

LATOUCHE, S. **Farewell to Growth**. Cambridge, Malden: Polity Press, 2009.

LAZARD. Lazard's levelized cost of storage analysis — version 1.0. **Lazard**, n. November, 2015.

LE QUÉRÉ, C. et al. Global Carbon Budget 2017. **Earth System Science Data Discussions**, n. November, p. 1–79, 2017.

LEE, R. B.; DEVORE, I. **Man the Hunter**. Chicago: Aldine, 1968.

LEESON, D. et al. A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 61, p. 71–84, 2017.

- LEIFELD, J. How sustainable is organic farming? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 150, p. 121–122, 2012.
- LENFERNA, G. A. Can we equitably manage the end of the fossil fuel era? **Energy Research and Social Science**, n. March, p. 0–1, 2017.
- LERNOUD, J.; WILLER, H. **The World of Organic Agriculture 2017. Statistics & Emerging trends 2017**. (H. Willer, J. Lernoud, Eds.) **FIBL & IFOAM - ORGANICS INTERNATIONAL** Switzerland, 2017. Disponível em: <www.organic-research.net/tipi%0Ahttp://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2017.html>
- LEVANDER, T. **Koldioxid –Utsläpp och beräkningsmetodik** Stockholm, 1991.
- LIMBURG, M.; MUELLER, F. **Strom ist nicht gleich Strom: Warum die Energiewende nicht gelingen kann**. Jena: TvR Medienverlag Jena, 2015.
- LINCOLN, G. A. **Economics of National Security. Managing America's Resources for Defense**. Second ed. New Jersey: Prentice Hall International, Inc., 1954.
- LOPES, C. **Os crimes do cartel do bilhão contra o Brasil**. Sao Paulo: Fundação Instituto Claudio Campos, 2016.
- LOPES, M.; BIAZATTI, B. Extrativism in the Global Market and Human Rights: The Tragedy of the Mudslide in Mariana (2015). **Brasiliana - Journal for Brazilian Studies**, v. 5, n. July, p. 5–28, 2017.
- LOSEKANN, C. A política dos afetados pelo extrativismo na América Latina. **Revista Brasileira de Ciência Política**, v. 20, n. 20, p. 121–164, 2016.
- LUCAS, A. Narratives of Technological Revolution in the Middle Ages. In: CLASSEN, A. (Ed.). **Handbook of Medieval Studies: Terms - Methods - Trends**. Berlin: De Gruyter, 2010. p. 967–990.
- LUND, H.; MATHIESEN, B. V. Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050. **Energy**, v. 34, n. 5, p. 524–531, 1 maio 2009.
- LUXEMBURG, R. **A acumulação do capital: contribuição ao estudo econômico do imperialismo**. Sao Paulo: Nova Cultural Ltda, 1985.
- MADDISON, A. **Maddison Database 2010** University of Groningen, 2010. Disponível em: <www.ggdc.net/maddison/historical_statistics/horizontal-file_02-2010.xls>

MALIK, N. S. **U.S. Becomes a Net Gas Exporter for the First Time in 60 Years.** Disponível em: <https://www.bloomberg.com/amp/news/articles/2018-01-10/u-s-became-a-net-gas-exporter-for-the-first-time-in-60-years?__twitter_impression=true>. Acesso em: 9 fev. 2018.

MALM, A. **Fossil capital: the rise of steam power and the roots of global warming.** London, New York: Verso, 2016.

MANKIW, G. **Introdução à Economia. Tradução da 6a edição norte-americana.** 6th. ed. Sao Paulo: CENGAGE Learning, 2015.

MARQUES, L. **Capitalismo e colapso ambiental.** Sao Paulo: Editora da Unicamp, 2015.

MARTIN, P. S. **The Discovery of America: The first Americans may have swept the Western Hemisphere and decimated its fauna within 1000 years.** *Science* (New York, N.Y.), 1973. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17842155>>

MARTINEZ-ALIER, J. **The Environmentalism of the poor: a study of ecological conflicts and valuation.** Cheltenham, UK. Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, 2002.

MARTÍNEZ ARRANZ, A. Lessons from the past for sustainability transitions? A meta-analysis of socio-technical studies. **Global Environmental Change**, v. 44, p. 125–143, 1 maio 2017.

MARX, K. **“Os economistas”. O Capital, Vol. 1.** Sao Paulo: Nova Cultural Ltda, 1996a.

MARX, K. **“Os economistas”. O Capital, Vol. 2.** Sao Paulo: Nova Cultural Ltda, 1996b. v. II

MAYUMI, K.; GIAMPIETRO, M.; GOWDY, J. M. Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz Revisited. **Ecological Economics**, v. 27, n. 2, p. 115–117, nov. 1998.

MCCRONE, A. et al. **Global Trends in Renewable Energy Investment 2017** Frankfurt, 2017. Disponível em: <<http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2017.pdf>> %0Ahttp://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2017>

MCGLADE, C.; EKINS, P. The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C. **Nature**, v. 517, n. 7533, 2015.

MCLEAN, K. “There’s nothing here”: Deindustrialization as risk environment for overdose. **International Journal of Drug Policy**, v. 29, p. 19–26, 2016.

MEADOWS, D. et al. **The Limits to Growth. A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind.** New York: Universe Books, 1972.

MEIJER, F.; NIJF, V. . **Trade, transport and society in the ancient world. A sourcebook.** London and New York: Routledge, 1992.

MEINSHAUSEN, M. et al. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. **Nature**, v. 458, n. 7242, p. 1158–1162, 2009.

MERICA, D. Trump declares opioid epidemic a national public health emergency. **CNN**, 26 out. 2017.

MEZA, C. G. et al. Toward a 100% renewable island: A case study of Ometepe's energy mix. **Renewable Energy**, v. 132, p. 628–648, 2019.

MEZA, C. G.; AMADO, N. B.; SAUER, I. L. Transforming the Nicaraguan energy mix towards 100% renewable. **Energy Procedia**, v. 138, p. 494–499, 2017.

MEZA, C. G.; AMADO, N.; SAUER, I. **Desenvolvimento sustentável, transição energética mundial pós-combustíveis fósseis e o pensamento político da esquerda latino-americana.** Anais do II Simpósio Internacional Pensar e Repensar a América Latina. **Anais...**Sao Paulo: 2016Disponível em: <https://sites.usp.br/prolam/wp-content/uploads/sites/35/2016/12/GONZALEZ_AMADO_SAUER_II-Simpósio-Internacional-Pensar-e-Repensar-a-América-Latina.pdf>

MITCHELL, B. **International Historical Statistics, The Americas 1750-2005.** 6th. ed. New York: Palgrave Macmillan UK, 2007.

MITCHELL, T. Carbon democracy. **Economy and Society**, v. 38, n. 3, p. 399–432, 2009.

MOHR, S. H. et al. Projection of world fossil fuels by country. **Fuel**, v. 141, p. 120–135, 2015.

MONROE, J. **Monroe Doctrine.** Disponível em: <<http://www.loc.gov/rr/program/bib/ourdocs/Monroe.html>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

MOREAU, V.; VUILLE, F. Decoupling energy use and economic growth: Counter evidence from structural effects and embodied energy in trade. **Applied Energy**, v. 215, n. February, p. 54–62, 2018.

MOREIRA, J. R.; PACCA, S. A.; PARENTE, V. The future of oil and bioethanol in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 7–15, 2014.

MUNKSGAARD, J. et al. Influence of trade on national CO2 emissions. **International Journal of Global Energy Issues**, v. 23, n. 4, p. 324, 2005.

MUNKSGAARD, J.; PEDERSEN, K. A. CO2 accounts for open economies: Producer or consumer responsibility? **Energy Policy**, v. 29, n. 4, p. 327–334, 2001.

MUNRO, J. **Industrial Energy from Water-Mills in the European Economy, 5th to 18th Centuries: the Limitations of Power**, 2002.

MURACA, B. Décroissance: A project for a radical transformation of society. **Environmental Values**, v. 22, n. 2, p. 147–169, 2013.

MYOJO, S.; OHASHI, H. Effects of consumer subsidies for renewable energy on industry growth and social welfare: The case of solar photovoltaic systems in Japan. **Journal of the Japanese and International Economies**, 2017.

NEUMAYER, E. **Weak versus Strong Sustainability. Exploring the Limits of two opposing paradigms**. Second ed. Cheltenham, UK. Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2003.

NEUMEYER, C.; GOLDSTON, R. Dynamic EROI assessment of the IPCC 21st century electricity production scenario. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 5, 2016.

NEVES, W. A. E no princípio... era o macaco! **Estudos Avançados**, v. 20, n. 58, p. 249–285, 2006.

NICOLINI, M.; TAVONI, M. Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 412–423, 1 jul. 2017.

NORGAARD, R. B. Economic indicators of resource scarcity: A critical essay. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 19, n. 1, p. 19–25, 1 jul. 1990.

NORGAARD, R. B. Economic indicators of resource scarcity: A more critical reply. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 21, n. 2, p. 195–199, 1 set. 1991.

NOURSE, T. **Campania Foelix, or, a Discourse of the Benefits and Improvements of Husbandry. Annex: Of the Fuel of London**. London, 1700.

NUCLEAR ENERGY INSTITUTE. **World Nuclear Power Plants in Operation**. Disponível em: <<https://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/World-Statistics/World-Nuclear-Power-Plants-in-Operation>>. Acesso em: 7 fev. 2018.

O'CONNOR, P. A.; CLEVELAND, C. J. U.S. energy transitions 1780-2010. **Energies**, v. 7,

n. 12, p. 7955–7993, 2014.

OECD. **Economic indicators**. Disponível em: <<https://data.oecd.org>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

OFFICE OF THE WHITE HOUSE. **Blueprint for a Secure Energy Future** Plan for energy policy Washington, 2011. Disponível em: <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/blueprint_secure_energy_future.pdf>

ONGENA, J.; OGAWA, Y. Nuclear fusion: Status report and future prospects. **Energy Policy**, v. 96, p. 770–778, 2016.

OPEC. **Venezuela facts and figures**. Disponível em: <http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/171.htm>. Acesso em: 24 fev. 2018a.

OPEC. **Saudi Arabia facts and figures**. Disponível em: <http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/169.htm>. Acesso em: 24 fev. 2018b.

OPEC. **Ecuador facts and figures**. Disponível em: <http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/148.htm>. Acesso em: 24 fev. 2018c.

PAN, J.; PHILLIPS, J.; CHEN, Y. China's balance of emissions embodied in trade: Approaches to measurement and allocating international responsibility. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 24, n. 2, p. 354–376, 2008.

PAPA FRANCISCO. **Carta Encíclica Laudato Si' do Santo Padre Francisco sobre o cuidado da casa comum** Vaticano: Tipografia Vaticana Vaticano, 2015. Disponível em: <http://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si_po.pdf>

PARKINS, W. E. Energy. Fusion power: will it ever come? **Science (New York, N.Y.)**, v. 311, n. 5766, p. 1380, 2006.

PAULANI, L. M. Brazil in the crisis of the finance-led regime of accumulation. **Review of Radical Political Economics**, v. 42, n. 3, p. 363–372, 2010.

PEET, J. 'Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz'...but what is the real question? **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 293–294, 1 set. 1997.

PELLETIER, N. et al. Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 36, n. 1, p. 223–246, 21 nov. 2011.

PERNOT, L. Pour une préhistoire de l'électricité: la Grèce antique et l'ambre jaune. **Bulletin**

d'Histoire de l'Electricité Paris, v. 2, p. 19–30, 1983.

PETERS, G. P. et al. Trade, transport, and sinks extend the carbon dioxide responsibility of countries: An editorial essay. **Climatic Change**, v. 97, n. 3, p. 379–388, 2009.

PETERS, G. P. et al. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 21, p. 8903–8908, 2011.

PETERS, G. P.; HERTWICH, E. G. Post-Kyoto greenhouse gas inventories: Production versus consumption. **Climatic Change**, v. 86, n. 1–2, p. 51–66, 2008.

PETROBRAS. **Pré-sal e marco regulatório de exploração e produção de petróleo e gás**Rio de Janeiro, 2009.

PIELKE, R. et al. Dangerous assumptions. **Nature**, v. 452, n. 7187, p. 531–2, 2008.

PIKETTY, T. **O Capital no século XXI**. I.ed. ed. Rio de Janeiro: Intrínica LTDA, 2014.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. H. **Food, Energy, and Society****Food energy and society**, 2008. Disponível em:
<<http://www.netlibrary.com.proxy.nwc.edu/AccessProduct.aspx?ProductId=274>>

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. **Microeconomics**. Fifth ed. [s.l.] Prentice Hall International, Inc., 2001.

POLANYI, K. **A Grande Transformação - as origens de nossa época**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1980.

POLIMENI, J., MAYUMI, K., GIAMPETRO, M., ALCOTT, B. **The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements**. London: Earthscan, 2008.

PONISIO, L. C. et al. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1799, p. 20141396–20141396, 2014.

RADL, A. **Die Magnetstein in der Antike: Quellen und Zusammenhänge**. Stuttgart: Steiner Verlag, 1988.

RAMÍREZ, R. Socialismo del sumak kawsay o biosocialismo republicano. In: **Los nuevos retos de América Latina. Socialismo y Sumak Kawsay**. 1a ed. ed. Quito: SENPLADES, 2010.

RAMOS-MARTÍN, J. Historical analysis of energy intensity of Spain: From a “conventional

view” to an “integrated assesment”. **Population and Environment**, v. 22, n. 3, p. 281–313, 2001.

RAO, V. **Shale Oil and Gas: The Promise and the Peril, Revised and Updated Second Edition**. Second ed. North Carolina: RTI Press, 2015.

RAUGEI, M. et al. Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response. **Energy Policy**, v. 102, n. December 2016, p. 377–384, 2017.

REDDY, A. K. N.; GOLDEMBERG, J. Energy for the Developing World. **Scientific American**, v. 263, n. 3, p. 110–118, set. 1990.

RENN, O.; MARSHALL, J. P. Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: From the 1950s to the “Energiewende”. **Energy Policy**, v. 99, p. 224–232, 2016.

REYNOLDS, T. **Stronger than a hundred men: a history of the vertical water wheel**. 7. ed. [s.l.] JHU Press, 2002.

RICHERSON, P. J.; BOYD, R.; BETTINGER, R. L. Was Agriculture Impossible during the Pleistocene but Mandatory during the Holocene ? A Climate Change Hypothesis. **American Antiquity**, v. 66, n. 3, p. 387–411, 2001.

RICO, J. A. P. **Biocombustíveis, alimentos e petróleo: uma análise retrospectiva da experiência brasileira**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 18 jul. 2013.

RIEFF, D. **THE REPROACH OF HUNGER: Food, Justice, and Money in the Twenty-First Century**. London: Verso, 2016.

RIGBY, D.; CÁCERES, D. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. **Agricultural Systems**, v. 68, n. 1, p. 21–40, 2001.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

ROBERTS, D. Solar power’s greatest challenge was discovered 10 years ago. It looks like a duck. **VOX**, mar. 2018.

RODRIGUEZ, A. **TEORÍA Y PRÁCTICA DEL BUEN VIVIR: ORÍGENES , DEBATES CONCEPTUALES Y CONFLICTOS SOCIALES. EL CASO DE ECUADOR**. [s.l.] Universidad del País Vasco, 2016.

RODRIK, D. Premature deindustrialization. **Journal of Economic Growth**, v. 21, n. 1, p. 1–33, 2016.

ROGERS, H. **Green gone wrong: Dispatches from the front lines of Eco-Capitalism**. London: Verso, 2010.

ROOM, J. **To Beat Tesla, China Plans To Boost Electric Vehicle Sales 10-Fold**. Disponível em: <<https://thinkprogress.org/china-to-boost-electric-vehicle-sales-10-fold-211053eb032b/#.17obyar1q>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

ROSE, D. J. Nuclear Eclectic Power. **Science**, v. 184, n. 4134, p. 351–359, 19 abr. 1974.

ROSER, M.; RITCHIE, H. **Energy Production & Changing Energy Sources**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources#investment-in-renewable-technologies>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

ROSS, C.; SLOAN, L. **Terra Incognita: A Navigation Aid for Energy Leaders**. [s.l.] PennWell Corporation, 2007.

RT. American shale gas project is a bubble about to burst – Gazprom CEO. **Bussines news**, 30 mar. 2013.

SACHS, J. D. From millennium development goals to sustainable development goals. **The Lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2206–2211, 2012.

SADOWSKI, A.; BAER-NAWROCKA, A. Food and environmental function in world agriculture—Interdependence or competition? **Land Use Policy**, v. 71, n. November 2017, p. 578–583, 2018.

SALAHUDDIN, M.; ALAM, K. Information and Communication Technology, electricity consumption and economic growth in OECD countries: A panel data analysis. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 76, p. 185–193, 2016.

SANDOM, C. et al. Global late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1787, p. 20133254–20133254, 2014.

SAUER, I. L. et al. Bolivia and Paraguay: A beacon for sustainable electric mobility? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 910–925, 2015.

SAUER, I. L. O pré-sal e a geopolítica e hegemonia do petróleo face às mudanças climáticas e à transição energética. In: MELFI, A. et al. (Eds.). **Recursos Minerais no Brasil**:

problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 308–322.

SAUER, I. L.; RODRIGUES, L. A. Pré-sal e Petrobras além dos discursos e mitos: disputas, riscos e desafios. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 185–229, 2016.

SCHAFFARTZIK, A. et al. The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows, 1950–2010. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 87–97, 1 maio 2014.

SCHEINSOHN, V. Hunter-Gatherer Archaeology in South America. **Annual Review of Anthropology**, v. 32, n. 1, p. 339–361, 2003.

SCHNEIDER, A. Economía, política y conflictividad minera durante las presidencias de Evo Morales en Bolivia (2006-2016). **Perfiles Económicos**, v. Julio, n. 1, p. 83–118, 2016.

SCHNEIDER, F. Macroscopic rebound effects as argument for ecoomic degrowth. **First international conference on Economic De-growth for Ecological Sustainability and Social Equity, Paris**, v. April 18-1, p. 29–36, 2008.

SCHNEIDER, J.; PEEPLES, J. The Energy Covenant: Energy Dominance and the Rhetoric of the Aggrieved. **Frontiers in Communication**, v. 3, n. February, p. 1–12, 2018.

SCOTT, M. **Renewables, Energy Storage, Electric Cars Will Likely Grow Strongly In 2018 As Oil Prices Rebound.** Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/mikescott/2018/01/29/renewables-energy-storage-electric-cars-will-likely-grow-strongly-in-2018-as-oil-prices-rebound/#1a1a81622661>>. Acesso em: 5 fev. 2018.

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. **Nature**, v. 485, n. 7397, p. 229–232, 25 abr. 2012.

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; MAYERHOFER, T. What is this thing called organic? – How organic farming is codified in regulations. **Food Policy**, v. 68, p. 10–20, 2017.

SHAFIEI, S.; SALIM, R. A. Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 66, p. 547–556, 1 mar. 2014.

SHERRATT, S.; SHERRATT, A. The growth of the Mediterranean economy in the early first millennium BC. **World Archaeology**, v. 24, n. 3, p. 361–378, fev. 1993.

SIEFERLE, R. **The subterranean forest: Energy Systems and the Industrial Revolution.**

Cambridge: White Horse Press, 2001.

SILVA, G. **O Decrescimento: leituras a partir do sul global**. [s.l.] University of Sao Paulo, 2017.

SILVERSTEIN, K. **The Secret World of oil**. London: Verso, 2014.

SIMKHOVITCH, V. G. Rome's Fall Reconsidered. **Political Science Quarterly**, v. 31, n. 2, p. 201, jun. 1916.

SINN, H. W. Public policies against global warming: A supply side approach. **International Tax and Public Finance**, v. 15, n. 4, p. 360–394, 2008.

SKIP LAITNER, J. A. Semiconductors and information technologies: The power of productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 5, p. 692–695, 2010.

SMIL, V. **Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production**. London: MIT Press, 2001.

SMIL, V. **The Earth's Biosphere. Evolution, Dynamics, and Change**. London: The MIT Press, 2002a.

SMIL, V. Nitrogen and food production: Proteins for Human Diets. **Ambio**, v. 31, n. 2, p. 126–131, 2002b.

SMIL, V. **ENERGY AT THE CROSSROADS: GLOBAL PERSPECTIVES AND UNCERTAINTIES**. [s.l.] MIT Press, 2003.

SMIL, V. **Vaclav Smil: Energy Myths and Realities: Bringing Science to the Policy Debate**. Washington, D.C: AEI, 2010.

SMIL, V. The long slow rise of solar and wind. **Scientific American**, v. 310, n. 1, p. 52–57, 2014.

SMIL, V. **“Too Cheap to Meter” Nuclear Power Revisited**. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/energy/nuclear/too-cheap-to-meter-nuclear-power-revisited>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

SMITH-SPANGLER, C. et al. Are Organic Foods Safer or Healthier Than Conventional Alternatives? **Annals of Internal Medicine**, v. 157, n. 5, p. 348, 4 set. 2012.

SOLA MONSERRAT, R. **Breve síntesis de história económica mundial y de centroamérica**. Managua: Universidad Centroamericana, 1988.

SOLÉ, J. et al. Renewable transitions and the net energy from oil liquids: A scenarios study. **Renewable Energy**, v. 116, p. 258–271, 1 fev. 2018.

SOLOW, R. M. Georgescu-Roegen versus Solow-Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 267–268, set. 1997.

SØRENSEN, B. Energy use by Eem Neanderthals. **Journal of Archaeological Science**, v. 36, n. 10, p. 2201–2205, 2009.

SOVACOOOL, B. K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, v. 13, p. 202–215, 1 mar. 2016.

SOVACOOOL, B. K.; BROSSMANN, B. The rhetorical fantasy of energy transitions: implications for energy policy and analysis. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 26, n. 7, p. 837–854, 9 ago. 2014.

SOVACOOOL, B. K.; DWORKIN, M. H. **Global energy justice: Problems, principles, and practices** Cambridge University Press, , 2014.

SOVACOOOL, B. K.; SCARPACI, J. Energy justice and the contested petroleum politics of stranded assets: Policy insights from the Yasuní-ITT Initiative in Ecuador. **Energy Policy**, v. 95, p. 158–171, 2016.

STEINER, J. E. A origem do universo e do homem. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 58, p. 231–248, 2006.

STERN, D. I. **Stochastic trend**. Disponível em: <<http://stochastictrend.blogspot.com.br/2014/05/modeling-emissions-income-relationship.html>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

STERN, D. I.; GERLAGH, R.; BURKE, P. J. Modeling the emissions–income relationship using long-run growth rates. **Environment and Development Economics**, p. 1–26, 2017.

STIGLITZ, J. E. **A neoclassical analysis of the economics of natural resources** NBER Working Paper, 1980. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=250334>

STIGLITZ, J. E. Georgescu-Roegen versus Solow / Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 269–270, 1997.

SUÁREZ, L. P. L. **Renda petrolífera: geração e apropriação nos modelos de organização da indústria brasileira**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 20 dez. 2012.

SUROVELL, T. A. et al. Test of Martin's overkill hypothesis using radiocarbon dates on extinct megafauna. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 4, p. 886–891, 2016.

TANG, X. et al. Will China's trade restructuring reduce CO2 emissions embodied in international exports? **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 1094–1103, 2017.

TANG, X.; SNOWDEN, S.; HÖÖK, M. Analysis of energy embodied in the international trade of UK. **Energy Policy**, v. 57, p. 418–428, 2013.

TAPIO, P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. **Transport Policy**, v. 12, n. 2, p. 137–151, 1 mar. 2005.

TESTART, A. et al. The Significance of Food Storage Among Hunter-Gatherers: Residence Patterns, Population Densities, and Social Inequalities [and Comments and Reply]. **Current Anthropology**, v. 23, n. 5, p. 523–537, 1982.

THE GUARDIAN. France to ban sales of petrol and diesel cars by 2040. **Business**, 2017.

THE ROYAL SOCIETY. **Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture** London, 2009. Disponível em: <https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf>

THE SUSTAINABLE ENERGY & ECONOMY NETWORK. **No new fossil fuel infrastructure**. Disponível em: <<http://www.nonewffi.org>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

THE WORLD BANK. **Agriculture for Development** Agriculture, 2008. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/development/agriculture-and-development_9789264013353-en>

THE WORLD BANK. **Inclusive Green Growth: the pathway to sustainable resource management** The World Bank Washington, D.C., 2012. Disponível em: <<http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>>

THE WORLD BANK. **World Development Indicators 2017**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **INTERNATIONAL ENERGY**

OUTLOOK 2017. Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>>. Acesso em: 9 fev. 2018.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **U.S. Petroleum and Other liquids supply, consumption, and inventories.** Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/steo/data/browser/#/?v=9&f=A&s=&start=2010&end=2019&ctype=linechart&maptype=0&id=&linechart=COPRPUS>>. Acesso em: 4 fev. 2018a.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **U.S. Natural gas supply, consumption, and inventories.** Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/steo/data/browser/#/?v=15&f=A&s=&start=2010&end=2019&ctype=linechart&maptype=0&id=&linechart=NGMPUS>>. Acesso em: 4 fev. 2018b.

UNEP. **Decoupling Natural Resource use and Environmental impact from economic growth** International Resource Panel, 2011. Disponível em: <http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling_Report_English.pdf>

UNFCCC. CONFERENCE OF THE PARTIES (COP). Paris Climate Change Conference- November 2015, COP 21. **Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President.,** v. 21932, n. December, p. 32, 2015.

UNITED NATIONS. **National Accounts Main Aggregates Database.** Disponível em: <<https://unstats.un.org/unsd/snaama/selbasicFast.asp>>. Acesso em: 28 out. 2017.

UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY. **CLIMATE CHANGE AND THE MOST VULNERABLE COUNTRIES: THE IMPERATIVE TO ACT,** 2008.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M. Environment versus growth — A criticism of “degrowth” and a plea for “a-growth”. **Ecological Economics**, v. 70, n. 5, p. 881–890, 15 mar. 2011.

VARGAS, E. **La ignominia del hambre y la pobreza ¡Tengo hambre y duele mucho!** 1a. ed. Managua: UNAN Managua, 2016.

VICTOR, P. A. Managing without growth in Canada: exploring the possibilities. In: VAN DEN BERGH, J. C. J. M. (Ed.). **Managing Without Growth. Slower by Design, Not Disaster.** Cheltenham, UK. Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing Limited, 2008a. p. 169–190.

VICTOR, P. A. **Managing without Growth. Slower by Design, Not Disaster.** [s.l.] Edward Elgar Publishing Limited, 2008b.

- VOA. Top US Import Sources of Steel, Aluminum. **VOA News**, 1 mar. 2018.
- VOUDOURIS, V. et al. The economic growth enigma revisited: The EU-15 since the 1970s. **Energy Policy**, v. 86, p. 812–832, 2015.
- WALKER, M. et al. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. **Journal of Quaternary Science**, v. 24, n. 1, p. 3–17, 2009.
- WARD, J. D. et al. Is Decoupling GDP Growth from Environmental Impact Possible? **PLOS ONE**, 2016.
- WCED. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**Oslo, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>
- WEBER, C. L. et al. The contribution of Chinese exports to climate change. **Energy Policy**, v. 36, n. 9, p. 3572–3577, 2008.
- WEZEL, A. et al. Agroecology as a science, a movement and a practice. **Sustainable Agriculture**, v. 2, p. 27–43, 2009.
- WILSON, A. Machines, Power and the Ancient Economy. **The Journal of Roman Studies**, v. 92, p. 1–32, 2002.
- WOOD, E. **The Origin of Capitalism**. London, New York: Verso, 2002.
- WRANGHAM, R.; CARMODY, R. Human adaptation to the control of fire. **Evolutionary Anthropology**, v. 19, n. 5, p. 187–199, 2010.
- WRENCH, G. **Reconstruction by way of the soil**. London: Faber and Faber Ltd, 1946.
- WRIGLEY, E. A. The Supply of Raw Materials in the Industrial Revolution. **The Economic History Review**, v. 15, n. 1, p. 1–16, ago. 1962.
- WRIGLEY, E. A. Energy and the English Industrial Revolution. **Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences**, v. 371, n. 1986, p. 1–10, 2013.
- WROE, S.; FIELD, J. A review of the evidence for a human role in the extinction of Australian megafauna and an alternative interpretation. **Quaternary Science Reviews**, v. 25, n. 21–22, p. 2692–2703, 2006.
- WU, X. F.; CHEN, G. Q. Global primary energy use associated with production, consumption

and international trade. **Energy Policy**, v. 111, n. February, p. 85–94, 2017.

WU, X. F.; CHEN, G. Q. Coal use embodied in globalized world economy: From source to sink through supply chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. February 2016, p. 978–993, 2018.

YORK, R. Do alternative energy sources displace fossil fuels? **Nature Climate Change**, v. 2, n. 6, p. 441–443, 2012.

YORK, R. Energy ethics. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 5, p. 409, 2015.

YORK, R.; MCGEE, J. A. Does Renewable Energy Development Decouple Economic Growth from CO2 Emissions? **SOCIUS**, 2017.

YUE, S. et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v. 16, n. 9, p. 1807–1829, 30 jun. 2002.

ZHANG, Z. et al. Review of geoengineering approaches to mitigating climate change. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 898–907, 2015.

ZHAO, H. R.; GUO, S.; FU, L. W. **Review on the costs and benefits of renewable energy power subsidy in China** **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2014.

ZHOU, K.; YANG, S.; SHAO, Z. Energy Internet: The business perspective. **Applied Energy**, 2016.

ZINKE, R. **A Vision for American Energy Dominance**. Disponível em: <<https://www.heritage.org/event/vision-american-energy-dominance>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

ŽIŽEK, S. The Revolt of the Salaried Bourgeoisie. **London Review of Books**, v. 34, n. 2, p. 9–10, 2012.