



## TENDÊNCIAS DO METABOLISMO DA ECONOMIA BRASILEIRA: Uma análise preliminar à luz da Economia Ecológica

Daniel Caixeta Andrade  
Professor Associado, Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade  
Federal de Uberlândia-UFU  
Avenida João Naves de Ávila 2121, Uberlândia-MG. CEP: 38.408-100  
[daniel.andrade@ufu.br](mailto:daniel.andrade@ufu.br)

Talles Girardi de Mendonça  
Professor Adjunto, Departamento de Ciências Econômicas,  
Universidade Federal de São João del Rei-UFSJ  
[tallesgm@ufsj.edu.br](mailto:tallesgm@ufsj.edu.br)

Ademar Ribeiro Romeiro  
Professor Titular, Instituto de Economia da  
Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP  
[ademar@eco.unicamp.br](mailto:ademar@eco.unicamp.br)

### Resumo:

Este trabalho investiga as tendências de escala econômico-ecológica do Brasil por meio da interpretação biofísica de seu crescimento em termos do consumo de materiais (recursos naturais e energéticos). O artigo apresenta a evolução do consumo doméstico de materiais, bem como alguns elementos para a análise da relação entre crescimento econômico, população e metabolismo socioindustrial no Brasil. Os resultados indicam que ao mesmo tempo em que a economia brasileira se tornou menos eficiente no uso de materiais (crescente intensidade material), sua taxa metabólica apresentou crescimento intenso no período analisado. Conclui-se que a dimensão biofísica da economia brasileira apresenta uma dinâmica de expansão tipicamente vertical, na qual os incrementos no uso *per capita* de materiais são preponderantes.

**Palavras-chave:** escala econômico-ecológica, consumo de materiais, taxa metabólica, eficiência, Brasil

### Trends in the Brazilian economy metabolism: a preliminary analysis in the light of Ecological Economics

### Abstract:

This paper is aimed at analyzing the trends in the ecological-economic scale in Brazil through a biophysical interpretation of its growth in terms of materials consumption (natural and energy resources). The study presents the evolution of domestic material consumption, as well as some elements of the relationship between economic growth, population and socioindustrial metabolism in Brazil. The results indicate that while the Brazilian economy became less efficient in material use (increasing material intensity), its metabolic rate sharply increased in the period under consideration. We conclude that the biophysical dimension of the Brazilian economy presents a typical vertical expansion dynamic, in which increments in per capita use of materials are crucial.

**Keywords:** ecological-economic scale, material consumption, metabolic rate, efficiency, Brazil

**Código JEL:** Q50; Q57



## 1. Introdução

Os conceitos de regimes sócio-metabólicos e metabolismo sócio-industrial<sup>1</sup> permitem o entendimento da trajetória de apropriação e utilização dos recursos da natureza pela sociedade humana (Ayres e Simonis, 1994; Sieferle, 2001). A mensagem principal das perspectivas teóricas que os utilizam é que o sistema econômico, cuja função principal é suportar a organização da produção e consumo de bens e serviços, possui um funcionamento essencialmente termodinâmico (ou entrópico) que gera consequências negativas e cumulativas para sua fonte principal – o meio ambiente.

A partir da interpretação de funcionamento termodinâmico do sistema econômico e a ideia de escala econômico-ecológica<sup>2</sup>, este trabalho analisa as tendências da dimensão biofísica da economia brasileira. Para tanto, será utilizada uma análise do fluxo de materiais da economia brasileira no período 1970-2008. Além de apresentar a trajetória do consumo doméstico de diferentes categorias de recursos, são feitas algumas considerações sobre a relação entre crescimento econômico (expansão

do PIB) e metabolismo socioindustrial no Brasil. O objetivo precípua deste estudo é oferecer parâmetros iniciais para a compreensão da dinâmica metabólica e sua interface com diferentes períodos da evolução socioeconômica do Brasil.

O trabalho está dividido em três seções, além desta introdução e considerações finais. A primeira traz uma discussão sobre o conceito de escala econômico-ecológica e suas principais diferenciações. O embasamento teórico utilizado é o da Economia Ecológica, cuja crítica principal provém do reconhecimento das limitações biofísicas do sistema econômico (Özkaynak *et al.*, 2012). A segunda e terceira seções apresentam, respectivamente, os fluxos de materiais consumidos internamente no período 1970-2008 e suas relações com o crescimento da economia brasileira. São discutidos, ainda, os conceitos de eficiência material e taxa metabólica, cujas estimativas são calculadas para o Brasil no período analisado.

## 2. Escala econômico-ecológica: aspectos conceituais

A concepção de escala econômico-ecológica (ou apenas escala) compreende a noção de tamanho físico (ou biofísico) relativo entre o sistema econômico e seu sistema maior (a biosfera). Neste contexto, são relevantes as seguintes perguntas: i) qual é a *magnitude atual da escala* do subsistema econômico em relação ao ecossistema terrestre?; ii) qual é a *magnitude máxima da escala* do subsistema econômico em função dos limites biofísicos impostos pela resiliência dos ecossistemas?; iii) qual é a *magnitude desejável da escala* do subsistema econômico que permite a maximização

<sup>1</sup> "... the whole of materials and energy flows going through the industrial system. It is studied through an essentially analytical and descriptive approach (basically an application of materials-balance principles), aimed at understanding the circulation of the materials and energy flows (and stocks) linked to human activity, from their initial extraction to their inevitable reintegration, sooner or later, into the overall biogeochemical cycles (Erkman, 2001, p. 3-4).

<sup>2</sup> A relação entre a dimensão biofísica do sistema econômico e o sistema maior que o sustenta será referida como escala econômico-ecológica (ou simplesmente escala). Desenvolvido originalmente pela Economia Ecológica, o conceito de escala pressupõe que o sistema econômico está contido no ecossistema global, que, por definição, é materialmente fechado (Daly, 1996).



dos benefícios oriundos da expansão física da economia? (Daly, 1993).

A partir das respostas às perguntas acima, existem diferentes qualificações da ideia de escala econômico-ecológica: a “escala real”, cuja mensuração responde a primeira pergunta; “a escala máxima ecologicamente sustentável” (segunda pergunta) e a “escala macroeconômica ótima” (terceira pergunta). A análise destas distintas qualificações exige abordagens específicas e apropriadas a cada problema de pesquisa. O ponto em comum entre elas é o reconhecimento das limitações termodinâmicas e a compreensão de que os impactos sobre o meio ambiente são função da magnitude do sistema econômico (seu tamanho físico) e da natureza do crescimento econômico. Em outras palavras, os efeitos das intervenções antrópicas nos meios naturais dependem majoritariamente da composição e forma de evolução da escala dos sistemas econômicos (ou estilo de desenvolvimento, que para Mueller (2007) se refere às diferentes formas de apropriação da renda dentro do sistema econômico).

Para Daly (1993), uma escala ecologicamente sustentável é aquela em que o fluxo de transumo está dentro da capacidade de suporte do sistema (“carrying capacity”) e a escala ótima é aquela que maximiza a diferença entre os estoques de benefícios (“wealth”) e malefícios (“illth”) acumulados por meio do crescimento, igualando os benefícios marginais e os malefícios marginais do crescimento econômico. Por sua vez, a escala real (ou atual) é um indicador da dimensão dos fluxos materiais e energéticos absorvidos e/ou expelidos pelo sistema econômico (dimensão biofísica de uma economia). A análise de sua magnitude é útil na medida em que pode oferecer pistas para a compreensão

das pressões antrópicas sobre os sistemas naturais.

A noção de escala máxima sustentável do ponto de vista ecológico responde apenas a questão de qual a escala que o sistema econômico pode assumir. É considerada como “benchmark” de natureza positiva, pois sinaliza as restrições impostas pela resiliência ecossistêmica. Não são considerados, por exemplo, aspectos de natureza distributiva, como o direito de gerações futuras em desfrutar do capital natural terrestre. Questões normativas são tratadas dentro do conceito de escala ótima, que responde a questão de qual a escala “economicamente desejável” que o sistema econômico pode assumir. Enquanto a escala ecológica sustentável lida com o atributo de resiliência, a escala ótima deve refletir as escolhas sociais dos agentes no que diz respeito às decisões sobre a exploração do capital natural. A escala real, por sua vez, permite conhecer a trajetória e o padrão de evolução das atividades econômicas e sua demanda em termos de materiais e energia.

Das definições acima, percebe-se que escala ecológica máxima é um problema biofísico, que requer avaliações que não estão ao alcance das análises puramente econômicas. Por outro lado, escala ótima diz respeito a um problema econômico, embora restringido por uma restrição ecossistêmica. Nesta perspectiva, a obtenção de uma escala ótima pressupõe a consideração dos preços relativos praticados em determinado sistema econômico, de maneira a propiciar a eficiente alocação do fluxo sustentável de recursos. Além das avaliações biofísicas necessárias para determinar os limites ecossistêmicos, deve-se reconhecer o papel dos preços relativos no processo de ajustamento macroeconômico às condições de finitude. Deve-se evitar o “imperialismo econômico” ao se



desconsiderar avaliações dos limiares ecossistêmicos e o “reduccionismo biofísico” ao se negligenciar o papel dos preços relativos para obtenção de uma escala macroeconômica ótima. Naturalmente, deve-se reconhecer que a estrutura de preços relativos é útil para a eficiente alocação, mas não se deve perder de vista a natureza peculiar do capital natural, que não admite apenas soluções convencionais de mercado para sua alocação e preservação (Lawn, 2001).

As diferenciações entre escala real, escala máxima ecologicamente sustentável e escala macroeconômica ótima são cruciais no debate sobre limites ao crescimento e suas implicações de política econômica (Andrade e Vale, 2014). No entanto, a incorporação destas distinções ainda não responde integralmente a questão de como se pode dar a mensuração das escalas. A complexidade ecológica e a falta de conhecimento mais apurado sobre a dinâmica das funções ecossistêmicas são os principais obstáculos para sua medição com níveis de certeza e acurácia aceitáveis. Mesmo que tal aferição seja comprometida pelas incertezas envolvidas, o desafio atual das análises econômicas é incorporar questões relativas às limitações biofísicas do sistema econômico<sup>3</sup>.

Para Malghan (2006), existem quatro dimensões para a verificação empírica das escalas. Em primeiro lugar, a escala real (ou atual) do sistema econômico pode ser medida considerando o ecossistema como fornecedor de matérias-primas (*source-side measurement*) e como absorvedor de resíduos da atividade humana (*sink-side measurement*). No

primeiro caso, escala é tida como a capacidade de o ecossistema suportar um determinado nível de *throughput*. No segundo, escala é a habilidade de determinado ecossistema assimilar toda a poluição proveniente do sistema econômico.

As duas dimensões acima transmitem a ideia de limites à dimensão do sistema econômico. Do lado da oferta de matérias-primas, há aqueles que afirmam que a crosta terrestre contém uma quantidade de recursos naturais que ainda pode sustentar as atividades econômicas num horizonte temporal considerável. Todavia, alguns economistas ecológicos e ambientalistas argumentam que o problema assume uma magnitude maior com relação à capacidade de absorção dos rejeitos das atividades humanas. Este último ponto impõe restrições à utilização excessiva dos recursos disponíveis para fornecimento de insumos às atividades econômicas. Com efeito, aumentos nos fluxos de materiais acarretam incrementos nos fluxos de resíduos<sup>4</sup> (ROGICH, 1996), o que pode levar a problemas futuros já que é limitada a capacidade de absorção de rejeitos das atividades humanas.

As escalas também podem ser medidas nas dimensões de estoque e fluxo. Em se tratando de estoque, escala é a dimensão física do sistema econômico em relação ao ecossistema relevante. Por ecossistemas relevantes, entendem-se os sistemas naturais em vários níveis de análise (local, regional e global). Quanto à dimensão de fluxo, escala se refere à capacidade de o ecossistema relevante sustentar determinado nível físico de *throughput*. Esta última deve considerar as taxas de renovação dos componentes

<sup>3</sup> Este tem sido, por exemplo, o desafio da emergente disciplina de macroeconomia ecológica, originalmente mencionada em Daly (1991).

<sup>4</sup> Deve-se considerar, contudo, casos de mudanças tecnológicas e institucionais favoráveis que aumentam a eficiência material e energética na geração do produto econômico.



do capital natural de maneira a apontar se as atividades econômicas que se baseiam na coleta direta de recursos naturais respeitam a renovabilidade natural dos ecossistemas.

Dada a complexidade inerente aos sistemas naturais e a falta de um conhecimento sistêmico sobre todos os processos que ocorrem no meio natural, ainda não é possível conhecer quais são os limiares (*thresholds*) dos ecossistemas e, por conseguinte, a escala que o sistema econômico pode ou deve assumir. Em outras palavras, não é possível conhecer até que ponto os ecossistemas naturais podem suportar a expansão do sistema econômico sem sofrerem danos e rupturas irreversíveis (escala máxima ecologicamente sustentável), tampouco o ponto além do qual o crescimento se torna anti-econômico (escala macroeconômica ótima)<sup>5</sup>.

Quanto à escala real do sistema econômico, diferentes abordagens podem ser utilizadas conforme as sugestões de Malghan (2006) apontadas acima. A mais comum é aquela que considera o meio ambiente como fornecedor de matérias-primas (*source-side measurement*), analisando, portanto, os fluxos materiais das economias. Conforme UNEP (2016), o crescimento no uso global de materiais tem se acentuado nas últimas quatro décadas, enquanto que a taxa de crescimento econômico e da população

tem reduzido. Particularmente, desde 2000 a extração de materiais tem se intensificado sobremaneira em função da industrialização e urbanização da China, impactando de modo especial regiões tradicionalmente fornecedoras de bens primários, como a América Latina.

Ainda conforme este relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o crescimento no uso global de materiais foi tamanho que permitiu o aumento do uso *per capita* de materiais de 7 toneladas (t) em 1970 para 10 t em 2010. Um novo indicador, chamado de pegada material do consumo, mostra que na Europa consome-se cerca de 20 t por habitante, chegando-se a 25 t per capita na América do Norte. Todavia, persistem hiatos entre os países do ponto de vista dos seus padrões materiais de vida (ou suas pegadas materiais de consumo): países ricos consomem em média dez vezes mais materiais que países pobres e duas vezes mais que a média mundial, o que demonstra claramente a grande desigualdade ainda existente no uso de materiais (UNEP, 2016)<sup>6</sup>.

Em análises regionais, West e Schandl (2013) investigaram os padrões no uso de materiais e a eficiência material nos países da América Latina e Caribe entre 1970 e 2008. Os resultados mostraram um rápido crescimento no consumo de materiais primários, ao mesmo tempo em que os países da região têm se tornado menos eficientes na geração de renda a partir da extração destes recursos. O mesmo se pode dizer com relação à

<sup>5</sup> Este trabalho está focado na mensuração da escala real da economia brasileira e, portanto, diz respeito a apenas umas das três qualificações existentes dentro da categoria analítica de escala econômico-ecológica. Apesar das dificuldades existentes, um esforço de mensuração da escala máxima ecologicamente sustentável foi feito por Rockström *et al.* (2009). Quanto à escala macroeconômica ótima, abordagens como a de Max-Neef (1995) e Lawn (2008) exemplificam a análise deste tipo de escala.

<sup>6</sup> Este relatório do PNUMA, publicado em 2016, apresenta informações globais sobre a extração de materiais e uma visão geral sobre o perfil metabólico de alguns países, entre eles o Brasil. Este trabalho, contudo, traz uma análise mais pontual do metabolismo brasileiro e sua relação com a evolução socioeconômica do Brasil



região Ásia-Pacífico, cujos países se tornaram os maiores consumidores mundiais de materiais ao mesmo tempo em que reduziram sua eficiência no uso dos mesmos (Schandl e West, 2010).

Em termos de economias individuais, Gierlinger e Krausmann (2011) analisaram a evolução do metabolismo industrial dos Estados Unidos (EUA) no período 1870-2005. Segundo os autores, em 2005 a economia estadunidense foi responsável por aproximadamente 15% de todos os materiais extraídos globalmente e um quinto da oferta mundial de energia primária. Muito embora tenha havido grandes ganhos de eficiência no uso de materiais, a economia dos EUA apresentou crescimento massivo tanto na extração quanto no consumo de matéria e energia, além do incremento constante do consumo de materiais por habitante.

Dentro da perspectiva da economia ecológica, o crescimento da escala real dos sistemas econômicos pode ser originado pelo crescimento da população e/ou pelo aumento do consumo *per capita*. Para Mueller (2007), o primeiro tipo de expansão é mais comum em países menos desenvolvidos e comumente recebe o nome de crescimento horizontal da escala. O segundo caso, por sua vez, é conhecido como crescimento vertical da escala e geralmente ocorre num contexto de população estável e consumo *per capita* (taxa metabólica) crescente (KRAUSMANN *et al.*, 2009). Crescimento vertical envolve, portanto, aumento da taxa metabólica de uma sociedade, enquanto que crescimento horizontal implica em taxa metabólica mais ou menos estável (embora a população seja crescente).

Ao longo da evolução histórica das sociedades, mudanças tecnológicas e

institucionais influenciam a maneira pela qual se dá a apropriação e utilização dos recursos materiais e energéticos oferecidos pela natureza. Esta dinâmica caracteriza a existência de diferentes regimes sociometabólicos (Krausmann *et al.*, 2008), cuja trajetória está intimamente ligada ao sistema energético característico de um determinado modo de organização socioeconômica. O regime sociometabólico industrial presente nos países atualmente desenvolvidos apresenta altas taxas metabólicas, grande participação de energias fósseis e tendência de redução da intensidade material-energética de suas economias.

O último ponto acima é de especial interesse para o estudo da escala atual do sistema econômico e questões sobre sustentabilidade de regimes sociometabólicos. Isso porque a intensidade material-energética de determinado regime remete à ideia de eficiência de transformação dos recursos da natureza em bens e serviços econômicos. Tal discussão está ligada ao conceito de *decoupling*, cuja premissa básica é a de “descolamento” entre crescimento econômico e uso de matéria e energia (UNEP, 2011) o que possibilitaria a desmaterialização do crescimento econômico.

Enquanto alguns autores (JACKSON, 2009) rechaçam a possibilidade de ocorrência do chamado *decoupling* absoluto (redução absoluta na utilização de recursos naturais/energéticos), outros apontam para externalidades negativas do *decoupling* relativo (aumento da eficiência material e energética) por meio da ocorrência do conhecido efeito “rebote” (Polimeni *et al.*, 2008).



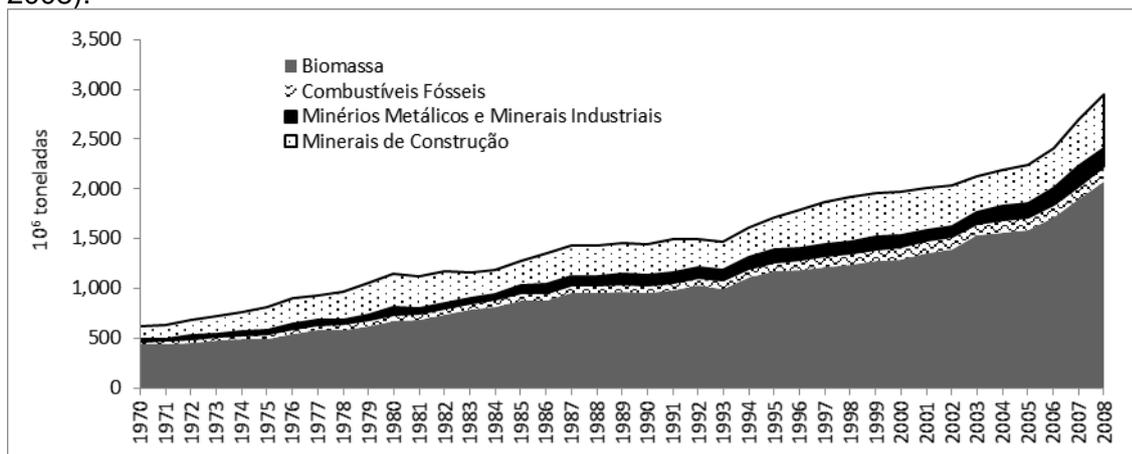
### 3. Tendências do metabolismo da economia brasileira

As informações utilizadas para os fluxos materiais e de energia (combustíveis fósseis) são oriundas de base de dados construída pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e Agência Nacional de Ciências da Austrália (CSIRO – *Commonwealth Scientific and Industrial Organisation*). Apesar do fato de a base de dados avançar apenas até o ano de 2008 e considerando, ainda, que novas atualizações não foram feitas e que peculiaridades metodológicas podem inviabilizar a comparabilidade dos dados com outras diferentes bases, acredita-se que o conjunto de informações utilizado neste trabalho não reduz o mérito da análise, uma vez que o objetivo aqui é investigar as *tendências* no metabolismo da economia brasileira. Além disso, as séries utilizadas são suficientemente longas para compreender pelo menos quatro momentos distintos da evolução socioeconômica do Brasil.

Os fluxos de materiais consumidos internamente são definidos por:  $CD = ED + (M - X)$ , em que  $CD$  é o consumo doméstico,  $ED$  é a extração doméstica e  $(M - X)$  é o balanço físico do comércio. As principais categorias utilizadas de consumo são biomassa, combustíveis fósseis, minérios metálicos e minerais industriais e minerais de construção.

A figura 1 abaixo apresenta a evolução dos fluxos de consumo doméstico de materiais por categoria. Durante o período analisado, o total consumido de materiais apresentou uma taxa de crescimento acumulado de aproximadamente 376% (de ~ 618,44 milhões de toneladas (t) em 1970 para ~ 2,9 bilhões de t em 2008) ou uma taxa de crescimento médio de 3,54% ao ano. As taxas mínima e máxima de crescimento médio anual foram verificadas para as categorias de minérios metálicos e minerais industriais e minerais para construção, respectivamente.

Figura 1 – Consumo doméstico de materiais no Brasil em milhões de toneladas (1970-2008).



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO).

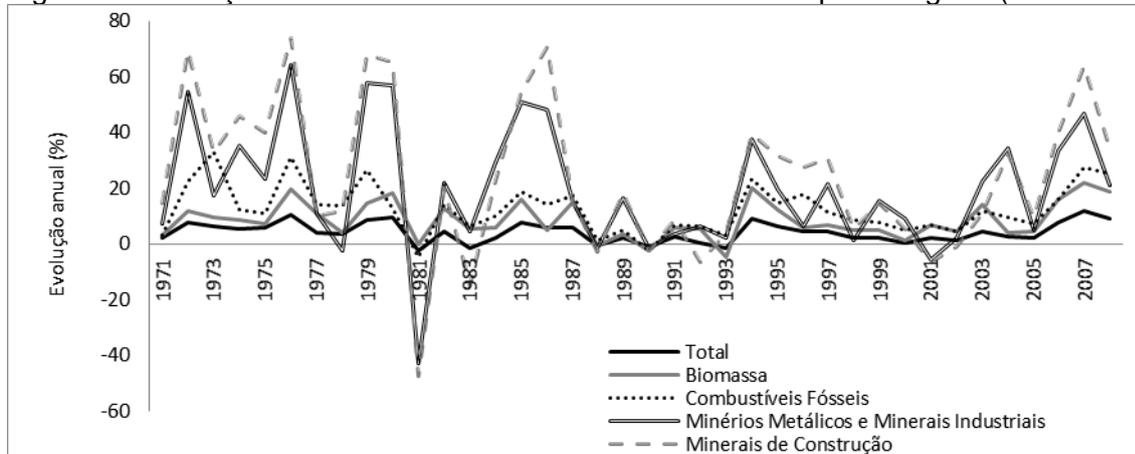
Em termos da evolução anual dos fluxos consumidos no Brasil (Figura 2), verificou-se que em alguns períodos houve queda no consumo de materiais no Brasil. Para

os fluxos agregados, por exemplo, as reduções anuais se concentraram na década de 1980, durante a qual a economia brasileira enfrentou problemas



macroeconômicos ligados principalmente à crise da dívida externa e inflação recorrente.

Figura 2 – Evolução anual do consumo de materiais no Brasil por categoria (1971-2008).



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO).

Em termos individuais, houve grandes flutuações na categoria de minerais de construção, cuja dinâmica ascendente na década de 1970 reflete os últimos esforços feitos pelo Brasil no sentido de construção de infraestrutura física por meio de planos desenvolvimentistas. As maiores evoluções desta categoria coincidem com a fase do milagre econômico brasileiro (início dos anos 1970) e II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND). O início da década de 1980, por sua vez, apresenta reduções significativas em função da maturação dos investimentos do II PND e do caráter recessivo da economia brasileira neste período.

Os fluxos de consumo de biomassa apresentaram crescimento positivo em todo o período analisado, exceto para os anos de 1986, 1990 e 1993. Apesar dos dois choques do petróleo ocorridos na década de 1970, o consumo de combustíveis fósseis apenas apresenta sua primeira queda no biênio 1980-1981, voltando a crescer nos demais anos das décadas de 1980 e 1990. Após quedas consecutivas no triênio 2001-2003, volta a

crescer a taxas significativas nos dois últimos anos da série. Isso demonstra que, apesar de todo o esforço da economia brasileira em concentrar sua demanda energética nos combustíveis renováveis, há uma tendência recente de aumento do consumo de combustíveis não renováveis.

Em termos de sua composição (Figura 3), grande parte dos materiais consumidos pela economia brasileira provém da biomassa, cuja participação relativa foi superior a 55% durante todo o período. Ao longo da década de 1970 esta categoria reduziu seu peso no consumo de materiais da economia brasileira, recuperando o mesmo patamar inicial no fim da série analisada (~ 70%).

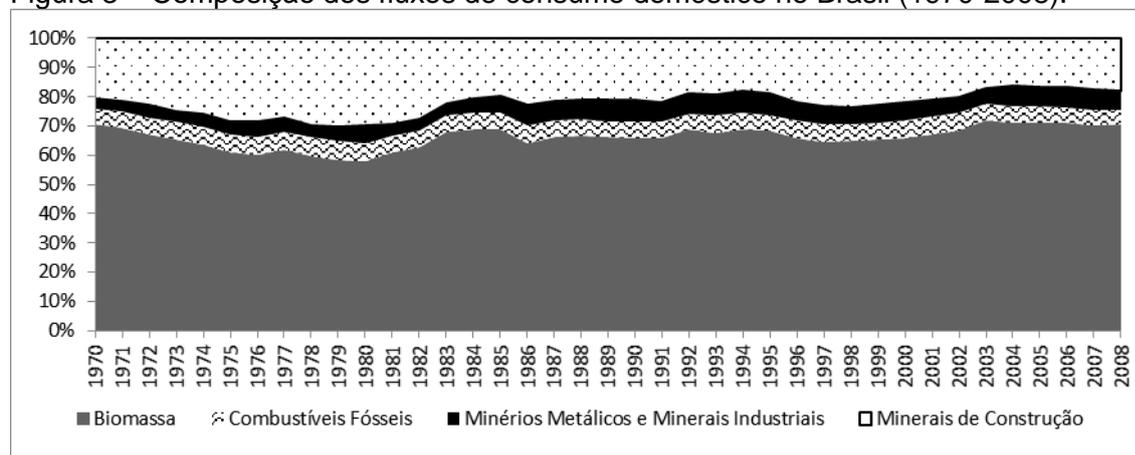
Já os fluxos de combustíveis fósseis não apresentaram grandes flutuações na sua participação relativa e as variações ficaram restritas ao intervalo de 4,5% a 7%. Os minérios metálicos e minerais industriais aumentaram paulatinamente seu peso relativo ao longo do período, enquanto que os minerais de construção finalizam a série com participação relativa



ligeiramente menor em 2008 na comparação com o ano inicial. É importante notar, porém, que houve aumentos nesta última categoria ao longo da década de 1970, refletindo mais uma

vez o período de fortes investimentos decorrentes das estratégias desenvolvimentistas deste período.

Figura 3 – Composição dos fluxos de consumo doméstico no Brasil (1970-2008).



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO).

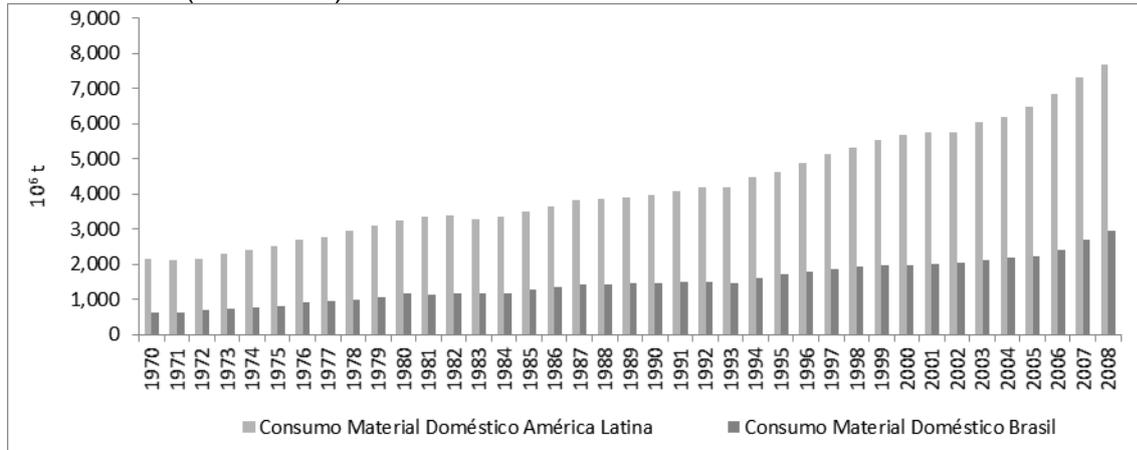
A análise da Figura 3 acima mostra de maneira inequívoca que os fluxos de materiais consumidos no Brasil são majoritariamente provenientes de recursos renováveis (biomassa). Dentro desta categoria, parcela crescente dos fluxos provém de culturas agrícolas e seus resíduos, seguidas de biomassa pastejada e madeira. Os fluxos de combustíveis fósseis são majoritariamente compostos por petróleo, seguido de carvão e gás natural. Destaca-se a crescente importância de gás natural na economia brasileira, cujo consumo aumentou cerca de 195 vezes ao longo do período, elevando sua participação relativa de menos de 1% em 1970 para 12% em 2008. O uso de carvão apresentou uma participação relativa levemente crescente, ao mesmo tempo em que o petróleo reduziu o seu peso relativo. Finalmente, a terceira categoria – minérios metálicos e minerais industriais – é composta inicialmente por grande parcela de minérios ferrosos, seguidos dos não ferrosos e minerais industriais.

Essa composição, porém, sofre alterações ao longo do período, já que os minérios não ferrosos passam a ser crescentemente mais importantes em termos relativos.

Comparando-se com a região da América Latina e Caribe (Figura 4), os dados mostram que em termos biofísicos a economia brasileira apresenta uma escala relativa crescente: em 2008, cerca de 38,36% de todo o consumo latino-americano de materiais foi feito no Brasil contra 28,91% em 1970. Em termos de sua composição, assim como no caso brasileiro, o consumo de materiais na América Latina e Caribe ainda é constituído majoritariamente por biomassa. Os dados mostram, porém, uma gradativa redução do peso relativo deste tipo de consumo no caso da América Latina, ao mesmo tempo em que há aumento da participação do consumo de minérios metálicos e minerais de construção.



Figura 4 – Consumo doméstico de materiais na América Latina e Caribe e Brasil em milhões de toneladas (1970-2008).



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO).

Os dados utilizados revelam que existem similaridades na trajetória de consumo do Brasil e América Latina, sendo a exceção feita para o consumo de biomassa. As singularidades do Brasil no que diz respeito às opções de cultivos agrícolas (biocombustíveis, principalmente) fazem com o que a economia brasileira tenha uma tendência inversa àquela normalmente apresentada em casos de modernização industrial. Isto é, enquanto que nas economias em fases avançadas de industrialização o peso relativo do consumo de recursos renováveis é decrescente, no Brasil observa-se uma tendência de manutenção e/ou aumento nesta categoria de consumo. Todavia, a despeito da expansão da produção e consumo de biomassa no Brasil, sua contribuição para a oferta de energia primária foi de apenas 32% no ano de 2008, o que sugere a persistente dependência brasileira de energia fóssil (West e Schandl, 2013).

As informações acima mostram a magnitude da expansão da escala biofísica do Brasil ao longo do período analisado. O metabolismo social da economia brasileira multiplicou-se por um

fator 4,8, o que certamente contribuiu para a evolução socioeconômica do país. Muito embora o consumo de materiais esteja concentrado principalmente em recursos renováveis (biomassa), é preciso reconhecer a existência de problemas ambientais diversos – como a saturação da capacidade natural dos ecossistemas em absorver os resíduos das atividades humanas –, os quais podem comprometer a sustentabilidade ecológica deste perfil metabólico (Krausmann *et al.*, 2008).

Conforme as formulações teóricas da economia ecológica, incrementos na dimensão biofísica estão diretamente relacionados à maneira pela qual se dá a expansão física do sistema econômico (crescimento econômico), bem como ao crescimento da população de determinado país. Estas relações são mediadas pela eficiência no uso de materiais, cuja análise para o Brasil é feita na próxima seção.



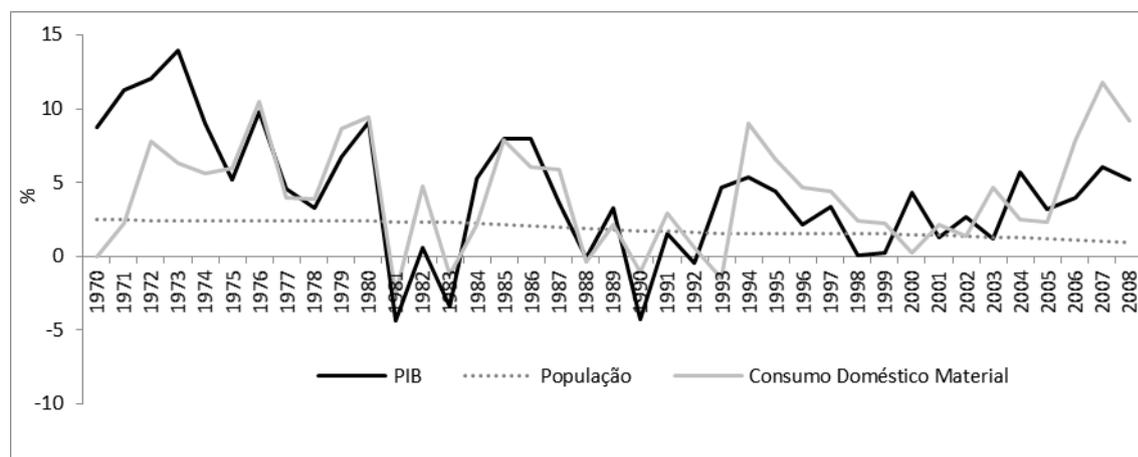
#### 4. Metabolismo, crescimento econômico e população: uma análise da eficiência material e do perfil metabólico para o Brasil

Esta seção tem como objetivo descrever as relações existentes entre consumo de materiais e crescimento econômico e populacional no Brasil. As informações para estas duas últimas variáveis são provenientes do banco de dados *World Development Indicators* (WORLD BANK, 2016). Dados sobre o PIB estão em dólares constantes de 2005.

A figura 5 abaixo mostra as taxas de crescimento anual do PIB, da população e do consumo doméstico de materiais no Brasil entre 1970 e 2008. Como se

percebe, a evolução anual do consumo doméstico de materiais parece acompanhar a trajetória do crescimento do PIB da economia brasileira no período analisado. A taxa de crescimento médio anual (ou taxa geométrica de crescimento) para o PIB ao longo de todo período de análise foi 3,09% a.a., levemente inferior à taxa equivalente de 3,54% a.a. para os materiais consumidos internamente. Para a população, esta taxa foi de 1,83% a.a.

Figura 5 – Evolução da taxa de crescimento do PIB, da população e consumo doméstico de materiais no Brasil (1970-2008)



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO) e World Bank (2016).

NOTA: Em função da indisponibilidade de dados, a taxa de crescimento anual do consumo doméstico de materiais foi considerada nula para o ano de 1970.

No início da década de 1970, o Brasil vivenciou o período conhecido como “milagre econômico” (Bresser-Pereira, 2003) com altas taxas de crescimento do PIB e, por conseguinte, incrementos significativos no consumo interno de materiais. Esta dinâmica se manteve até o

início da década de 1980, período a partir do qual a economia brasileira passa a conviver com a crise da dívida externa e a perda de capacidade do Estado em liderar o processo de industrialização.



A década de 1980, conhecida como “década perdida” (Valença, 1998; Hermann, 2001), foi marcada principalmente por dois problemas macroeconômicos crônicos (restrições do balanço de pagamentos e inflação doméstica persistente), o que resultou em uma trajetória errática do crescimento econômico. De maneira genérica, pode-se afirmar que a crise da dívida dos 1980 marca o esgotamento do padrão de crescimento por substituição de importações iniciado em 1930 e inaugura um período de baixo crescimento econômico.

Passadas as turbulências da década de 1980, o Brasil consegue sua estabilização monetária com o sucesso do Plano Real (1994), o que viabilizou a retomada momentânea de seu crescimento econômico e um significativo incremento no consumo de materiais até o ano de 1999. Contudo, o fim dos anos 1990 foi marcado por uma nova desaceleração econômica em função das crises dos “Tigres Asiáticos” (1997) e da Rússia (1998), que contribuíram para o colapso da âncora cambial do Plano Real e implantação do regime de metas inflacionárias em 1999. Após uma lenta recuperação no início da década seguinte, o consumo interno de materiais passa a exibir nova trajetória de expansão a partir de 2005, cuja dinâmica está diretamente relacionada a um novo período de crescimento econômico no Brasil alavancado pela ampliação do consumo e crédito (Elstrodt *et al.*, 2014).

Com o objetivo de analisar em maiores detalhes o padrão do consumo interno de materiais na economia brasileira, o período analisado foi dividido em quatro subperíodos para os quais foram estimadas as taxas de crescimento médio anual do PIB, população e consumo doméstico de materiais. Além dessas

taxas, foi calculada a intensidade material para o período total e subperíodos e o consumo *per capita* (Tabela 1)<sup>7</sup>.

A intensidade material (IM), cuja unidade é dada em quilos por dólar (Kg/US\$), é um indicador da eficiência material da economia brasileira. É uma medida importante, pois indica o potencial de desmaterialização de uma determinada economia. Já o consumo *per capita* é conhecido por taxa metabólica (Krausmann *et al.*, 2009).

---

<sup>7</sup> Em termos gerais, a década de 1970, que representou o último esforço grandioso de industrialização do Brasil; a década de 1980, marcada por dificuldades macroeconômicas (crise da dívida externa, inflação persistente); os anos 1990, caracterizados pela estabilização advinda do Plano Real e pela introdução de políticas econômicas de cunho neoliberal; e finalmente os anos 2000, cuja característica principal foi a entrada da economia brasileira num novo *boom* de crescimento econômico, embora num patamar significativamente menor do que nos anos 1970, proveniente da conjunção virtuosa de fatores internos e externos.



Tabela 1 – Taxas de crescimento médio anual do PIB, população e consumo doméstico material, intensidade material e taxa metabólica no Brasil em diferentes períodos.

| Variável  | 1970-<br>2008 | 1970-<br>1979 | 1980-<br>1989 | 1990-<br>1999 | 2000-<br>2008 |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Taxa crescimento anual do PIB (%)                           | 3,09          | 7,98          | 3,01          | 2,78          | 3,62          |
| Taxa crescimento anual da população (%)                     | 1,84          | 2,37          | 2,11          | 1,54          | 1,18          |
| Taxa crescimento anual consumo doméstico de materiais (%)   | 3,54          | 6,06          | 3,28          | 3,82          | 4,80          |
| Intensidade Material (média em kg/US\$/ano)                 | 2,44          | 2,30          | 2,34          | 2,49          | 2,63          |
| Taxa metabólica (média em toneladas <i>per capita</i> /ano) | 9,88          | 7,48          | 9,45          | 10,40         | 12,44         |

Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO) e *World Development Indicators* (World Bank, 2016).

Para todo o período analisado, o crescimento médio anual do consumo interno de materiais foi superior ao crescimento do PIB e população. Esta dinâmica se repete em todos os subperíodos analisados, à exceção da década de 1970, durante a qual a economia brasileira cresceu a uma velocidade superior ao consumo de materiais. Tal como mencionado anteriormente, a análise da evolução do PIB nos diferentes subperíodos mostra de maneira inequívoca que o último esforço industrializante da economia brasileira foi feito justamente durante os anos 1970 (“milagre econômico” e II PND), o que fez com que nesta década o consumo de materiais também crescesse a uma taxa expressiva, porém num ritmo menos acelerado.

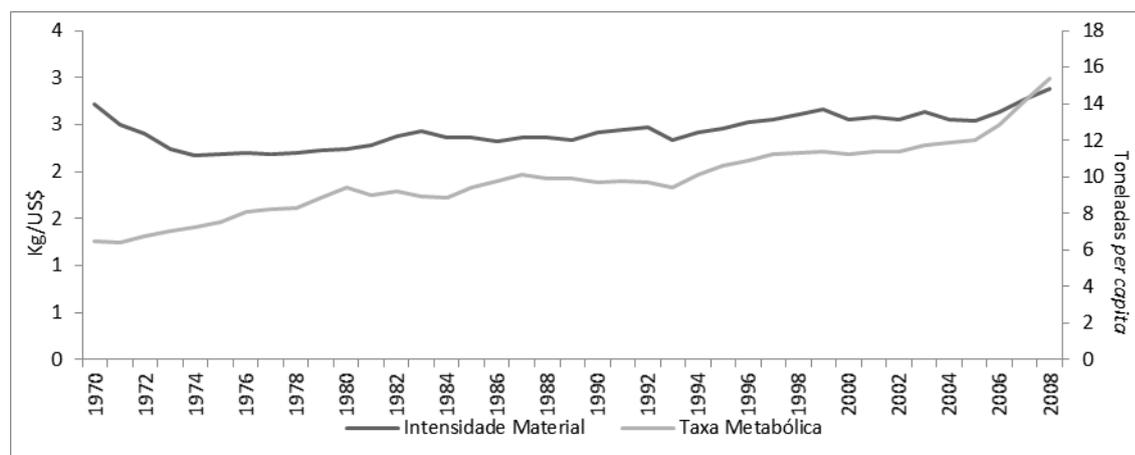
Em se tratando da população, sua evolução ao longo do período segue o padrão observado na maioria dos países

com nível intermediário de renda. De maneira geral, a melhoria das condições de vida e a consequente queda da taxa de mortalidade, aliada à posterior queda da taxa de natalidade, são os determinantes principais para a compreensão da dinâmica dessa variável. Taxas de crescimento populacional inferiores à expansão do consumo doméstico de materiais resultam numa taxa metabólica crescente como indicado pela evolução do consumo *per capita* de materiais (Figura 6).

Enquanto que em 1970 o consumo material foi de aproximadamente 6,4 t *per capita*, em 2008 a taxa metabólica da economia brasileira foi de cerca de 15,4 t por habitante, o que resulta num crescimento acumulado de ~ 138%. Evidencia-se, portanto, que a escala atual da economia brasileira apresenta um crescimento tipicamente vertical.



Figura 6 – Intensidade material (à esquerda) do consumo doméstico e taxa metabólica (à direita) no Brasil (1970-2008).



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO) e World Bank (2016).

Com relação à intensidade material da economia brasileira, as médias calculadas acima sugerem sua relativa estabilidade para o período analisado. A figura 6, porém, mostra que há uma tendência recente de aumento da intensidade material na economia brasileira, o que indica que, ao contrário de algumas economias desenvolvidas (Gierlinger e Krausmann, 2011; Krausmann *et al.*, 2011), o Brasil vem diminuindo sua eficiência no consumo de materiais. Este fato, somado ao aumento expressivo da taxa metabólica, coloca importantes questionamentos sobre a trajetória sustentável do crescimento da economia brasileira.

Por fim, um último exercício foi feito para analisar a relação existente entre PIB e consumo interno de materiais da economia brasileira. Esta verificação foi possível por meio de uma análise de regressão na qual o consumo de materiais (*consmat*) é dependente do PIB (*pib*).

Em análises dessa natureza, conforme destacado por Greene (2002), é necessário verificar a estacionariedade

das séries antes de proceder à estimação da equação. Segundo o autor, caso as séries sejam não estacionárias a estimação da equação pode resultar em uma regressão espúria. Neste caso, embora os coeficientes apresentem valores esperados, a análise em geral apresenta problemas de autocorrelação e de ausência de normalidade nos resíduos. Com estas características, os testes estatísticos habituais (estatísticas *t* e *F*) não são confiáveis, comprometendo todo o restante da análise.

Neste sentido, antes de estimar a equação, considerando o consumo de materiais como variável dependente e o PIB como variável explicativa, procedeu-se à verificação da estacionariedade das séries do logaritmo do consumo de materiais e do PIB. A opção em utilizar o logaritmo das séries refere-se à facilidade em termos da obtenção de coeficientes que representam elasticidades. No caso deste trabalho, o procedimento permitirá obter a elasticidade da demanda por materiais (recursos naturais e energéticos) em relação ao PIB.



Para verificar a estacionariedade das séries foi implementado o teste Dickey-Fuller GLS proposto por Elliot *et al.* (1996). Os autores mostraram que este teste tem maior poder que o teste ADF (*Augmented Dickey-Fuller*), largamente utilizado em análises empíricas. É importante salientar que o teste foi implementado considerando-se a presença de constante e a presença de constante e tendência.

Os resultados do teste DF-GLS indicaram que as séries em nível do logaritmo do consumo de materiais e do PIB são não estacionárias para a maior parte das especificações do teste (Tabela 2). Contudo, tomando-se a primeira diferença das séries e repetindo o teste, foi possível verificar que as mesmas apresentaram-se como estacionárias, independente da especificação do teste.

Tabela 2 – Teste DF-GLS para o logaritmo das séries de *consmat* e *pib* em nível e primeira diferença.

| Variáveis                         | Nível      |                      | Primeira diferença |                      |
|-----------------------------------|------------|----------------------|--------------------|----------------------|
|                                   | Defasagens | Estatística do teste | Defasagens         | Estatística do teste |
| Consmat com constante             | 0          | 2,0669**             | 0                  | -4,4110***           |
| Consmat com constante e tendência | 1          | -2,1602              | 0                  | -4,3588***           |
| PIB com constante                 | 0          | 0,9131               | 1                  | -2,0331**            |
| PIB com constante e tendência     | 0          | -1,9029              | 0                  | -3,9109***           |

Fonte: resultados da pesquisa

Nota: (\*\*\*) denota significância a 1%, (\*\*) denota significância a 5%.

Neste sentido, a fim de que a análise de regressão gere resultados confiáveis, optou-se por realizar a estimação da equação do consumo de materiais contra o PIB com as variáveis em primeira diferença. Este procedimento é descrito por Greene (2002) como adequado, já que conduz a resultados satisfatórios. A equação estimada após o teste de estacionariedade tem a seguinte especificação:

$$\Delta \log Consmat_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log PIB_t + \beta_2 \Delta \log PIB_t * D + \varepsilon_t$$

(equação 1)

em que *Consmat* é o consumo de materiais, PIB é o produto interno bruto, *D* é uma variável *dummy* que assumiu valor 1 para o período 2005 a 2008 e  $\Delta$  é o operador de diferenças.



Os resultados permitem inferir que há uma relação significativa entre PIB e consumo de materiais (Tabela 3). Todos os coeficientes da equação foram significativos individualmente, considerando-se um nível de significância de 1%. O resultado encontrado para o teste F indica que, conjuntamente, os coeficientes foram significativos ao nível de 1% de significância. O  $R^2$  indicou um bom nível

de ajuste do modelo. Com relação aos pressupostos do modelo de regressão linear, o teste Jarque-Bera (JB) confirmou a normalidade dos resíduos da regressão. Além disso, os valores dos testes de Durbin Watson (DW) e Breush-Godfrey (BG) indicaram ausência de autocorrelação nos resíduos.

Tabela 3 – Relação entre o consumo de materiais e o PIB do Brasil no período de 1970 a 2008

| Variável       | Coefficiente | Estatística t |
|----------------|--------------|---------------|
| Constante      | 0,0158       | 2,8808***     |
| logPIB         | 0,5357       | 5,5559***     |
| logPIB*D       | 0,8524       | 3,1437***     |
| $R^2$          | 0,5526       |               |
| Teste JB       | 1,3193       |               |
| Estatística DW | 1,9005       |               |
| Teste BG       | 0,1237       |               |
| Teste F        | 21,6214***   |               |

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: (\*\*\*) denota significância a 1%.

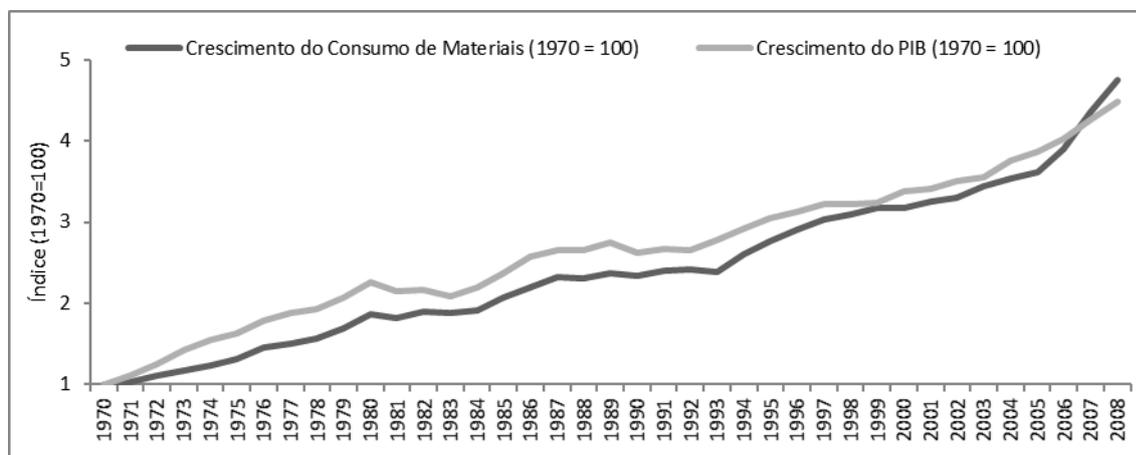
Tendo em vista estas considerações, o coeficiente estimado para o PIB permite inferir que para cada 1% de elevação no PIB tem-se, em média, 0,5357% de elevação no consumo de materiais. Constatou-se, portanto, que a demanda de materiais é inelástica em relação ao PIB ao longo do período analisado.

É importante salientar que, de acordo com os dados desta pesquisa foi possível identificar que, a partir de 2005, houve intensificação no crescimento do consumo de materiais em relação ao crescimento do PIB (Figura 7). Mediante a análise empreendida, este fato significou uma

mudança no coeficiente angular da equação estimada, inserida no modelo por meio de uma variável *dummy* interativa, que assumiu valor 0 para o período 1970 a 2004 e 1 para o período 2005 a 2008. Em termos práticos, a inserção desta *dummy* teve como objetivo verificar se a partir de 2005 houve mudança na relação entre consumo de materiais e PIB. Pretendeu-se verificar se a elasticidade da demanda por materiais em relação ao PIB apresentou alteração a partir de 2005.



Figura 7 – Evolução do crescimento do consumo de materiais e do PIB no Brasil no período 1970 a 2008 (1970 = 100).



Fonte: Fluxo de materiais para América Latina e Caribe (PNUMA e CSIRO) e World Bank (2013).

Os resultados encontrados para o coeficiente da variável *dummy* interativa indicam que, a partir de 2005, para cada aumento de 1% no PIB houve um aumento de 1,3881% no consumo de materiais, o que demonstra que a partir de 2005 a demanda por materiais se tornou elástica em relação ao PIB. Estes resultados corroboram a análise anterior e indicam a perda de eficiência da economia brasileira em termos do consumo de materiais.

Fica demonstrado, pois, que o que tem ocorrido recentemente é um processo de materialização do crescimento econômico no Brasil (maior intensidade material-energética), o que poderá trazer problemas em relação à trajetória de longo prazo da economia brasileira em termos de sustentabilidade ecológica. Trata-se de um resultado importante que deve ser considerado em eventual reavaliação da natureza qualitativa da evolução socioeconômica do Brasil neste século XXI.

O desafio brasileiro de encontrar combinações de políticas econômicas que viabilizem uma trajetória de crescimento econômico robusto e ambientalmente responsável não pode prescindir de uma cuidadosa análise sobre o metabolismo da economia brasileira, uma vez que este tipo de avaliação pode revelar importantes tendências convergentes ou divergentes de trajetórias já vividas por outros países em estágios mais maduros de sua evolução socioeconômica. A despeito de sua importância, nota-se que há uma carência generalizada deste tipo de análise.

## 5. Considerações Finais

Um dos princípios diferenciadores da Economia Ecológica é sua visão pré-analítica distinta que diz que o sistema econômico é um subsistema de um todo maior, conhecido genericamente como “ecossistema global”. Essa percepção distinta das relações entre sistema econômico e meio ambiente corrobora a interpretação de funcionamento termodinâmico do sistema econômico e



conduz à ideia de escala econômico-ecológica.

Esta ideia pode ser definida como uma categoria analítica própria da Economia Ecológica e que deve ser entendida como a dimensão relativa entre o sistema econômico e meio ambiente. Este conceito admite, ainda, três qualificações distintas, quais sejam: i) escala ecologicamente sustentável; ii) escala macroeconômica ótima; e iii) escala real.

A partir de um enfoque exclusivo da ideia de escala real e usando uma abordagem de *source-side measurement*, este trabalho teve como objetivo estimar a dimensão biofísica (escala econômico-ecológica) da economia brasileira. Isto é, investigou-se as tendências no metabolismo industrial do Brasil a partir de uma perspectiva econômico-ecológica. Para tanto, analisou-se a evolução do consumo doméstico de materiais (recursos naturais e energéticos) no Brasil (1970-2008). Os resultados apontaram para um forte incremento do fluxo de materiais da economia brasileira, cujo crescimento acumulado foi de cerca de 376% ou um crescimento médio anual de 3,54% a.a.

Em termos de sua composição, verificou-se que grande parte dos fluxos de materiais consumidos no Brasil provém da biomassa (média de 66,17% de participação relativa ao longo do período), indicando que o Brasil possui vantagens em termos de sustentabilidade ecológica de seu crescimento econômico uma vez que utiliza majoritariamente recursos renováveis. Essa interpretação, porém, deve ser qualificada uma vez os resultados encontrados na análise colocam importantes questionamentos sobre a possibilidade de a economia brasileira seguir uma trajetória de desenvolvimento sustentável.

Em primeiro lugar, verificou-se que a dimensão biofísica da economia brasileira apresenta uma dinâmica de expansão tipicamente vertical, na qual os incrementos no uso *per capita* de materiais são preponderantes. Enquanto que em 1970 o consumo material foi de aproximadamente 6,4 t *per capita*, em 2008 a taxa metabólica da economia brasileira foi de cerca de 15,4 t por habitante, o que resulta num crescimento acumulado de aproximadamente 138%.

Em segundo lugar, os resultados mostram uma tendência recente de redução da eficiência material e energética da economia brasileira. Este resultado difere a trajetória brasileira das principais economias desenvolvidas, nas quais se observa um aumento da eficiência material e energética. As estimativas econométricas realizadas mostram que até 2005 o consumo de materiais no Brasil apresentou um comportamento inelástico em relação ao incremento do PIB. A partir de 2005 este padrão é invertido e o consumo de materiais exhibe um comportamento elástico em relação à expansão do PIB, o que corrobora as conclusões sobre a perda de eficiência da economia brasileira em termos de consumo de materiais.

É preciso notar, entretanto, que o aumento expressivo da taxa metabólica foi superior ao aumento da taxa de intensidade material, o que indica a adoção de tecnologias mais ecoeficientes, embora em um nível não suficiente para impedir uma redução geral da eficiência material e energética da economia brasileira devido à maior elasticidade da demanda por materiais a partir de 2005. Todavia, este fato deve ser considerado como positivo do ponto de vista socioeconômico, pois se trata de um período de crescimento econômico com redistribuição de renda, algo inédito na



história do país. Além da redistribuição estática da renda por meio de programas sociais centralizados no programa Bolsa Família, houve também redistribuição dinâmica da renda devido ao aumento do emprego, em especial com carteira assinada, num quadro de forte redução da natalidade. Milhões de famílias ascenderam ao patamar inicial de classe média, o que levou a um forte aumento do consumo de bens duráveis longamente reprimido pela concentração de renda.

Do ponto de vista da economia ecológica, houve, portanto, uma maior justiça na distribuição do acesso da população aos recursos naturais que se traduziu, é certo, numa maior escala de seu uso, mas (ainda) justificável. Se esse processo continuar, o que é muito duvidoso em função dos erros acumulados nas políticas econômicas, a redução relativa da pressão da demanda por recursos naturais poderia ser obtida por uma composição tecnológica mais avançada dos novos investimentos a serem realizados. Uma política macroeconômica ambiental/ecológica deveria ser articulada para criar a estrutura de incentivos adequada ao aumento da ecoeficiência do sistema produtivo.

### Referências Bibliográficas

Andrade, D.C., Vale, P.M. "Fronteiras Planetárias" e limites ao crescimento: algumas implicações de política econômica. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 22: 69-84, 2014.

Ayres, R.U., Simonis, U.E. *Industrial metabolism: restructuring for sustainable development*. United Nations University Press: Tokyo, New York, Paris, 1994.

Bresser-Pereira, L. C. *Desenvolvimento e crise no Brasil: história, economia e*

*política de Getúlio Vargas a Lula*. São Paulo. Editora 34 5ª edição, 2003. 454 p.

Daly, H.E. *Uneconomic growth: in theory, in fact, in history, and its relation to globalization*. Clemens Lectures Series, Saint's John University, 1999.

Daly, H.E. *Beyond Growth: The economics of sustainable development*. Boston: Beacon Press, 1996.

Daly, H.E. *Ecological Economics: The concept of scale and its relation to allocation, distribution, and uneconomic growth*. Discussion Paper: School of Public Affairs, University of Maryland, 1993.

Daly, H.E. Towards an environmental economics. *Land Economics* 67 (2), p. 255-259, May, 1991.

Elliot, G., Rothenberg e T. J., Stock, J. H. Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica* 64: 813-836, 1996.

Elstrodt, H-P., Manyika, J., Remes, J., Ellen, P., Martins, C. Connecting Brazil to the world: A path to inclusive growth. McKinsey Global Institute, May 2014.

Erkman, S. *Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system*. President's lecture, Assemblée annuelle de la Société Suisse de Pneumologie, Genève, 30 de março 2001. Disponível em:

<<http://www.esf.edu/for/germain/Erkman%20-%20Industrial%20Ecology.pdf>.>

Acesso em: fevereiro de 2016.

Gierlinger, S., Krausmann, F. The physical economy of the United States of America: extraction, trade, and consumption of materials from 1870 to 2005. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16 (3), p. 365-377, 2011.

Greene, W. H. *Econometric Analysis*. Prentice Hall (USA): 5th edition, 2002.



- Hermann, J. Auge e declínio do modelo de crescimento com endividamento: o II PND e a crise da dívida externa. In: Giambiagi, F., Villela, A., Castro, L.B., Herman, J. (orgs). *Economia Brasileira Contemporânea: 1945-2010*. Rio de Janeiro: Elsevier 2a ed., 2011.
- Jackson, T. *Prosperity without growth: economics for a finite planet*. 1st Edition. London, UK: Earthscan, 2009.
- Krausmann, F. Gingrich, S. e Nourbakhch-Sabet, R. The metabolic transition in Japan: a material flow account for the period from 19878 to 2005. *Journal of Industrial Ecology*, v. 15 (6), p. 877-892, 2011.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K-H., Haberl, H. e Fischer-Kowalski, M. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics* 68: 2696-2705, 2009.
- Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H. e Eisenmenger, N. The global sociometabolic transition. Past and present metabolic profiles and their future trajectories. *Journal of Industrial Ecology*, 12 (5/6): 637-656, 2008.
- Lawn, P. "How much progress has been recently made in India? Finding out with the use of a Genuine Progress Indicator", *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 7 (3): 311-331, 2008.
- Lawn, P.A. Scale, prices, and biophysical assessments. *Ecological Economics*, v. 38, p. 369-382, 2001.
- Malghan, D. *On being the right size: a framework for the analytical study of scale, economy, and ecosystem*. PhD dissertation – University of Maryland, 2006.
- Max-NeeF, M. Economic growth and quality of life. *Ecological Economics* 15: 115-118, 1995.
- Mueller, C.C. Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. Brasília: Editora UnB, 2007.
- Özkaynak, B., Adaman, F. e Devine, P. The identity of ecological economics: retrospects and prospects. *Cambridge Journal of Economics* 36, p. 1123-1142, 2012.
- Polimeni, J., Mayumi, K., Giampietro, M. e Blake. *The Myth of Resource Efficiency. The Jevons paradox*. London: Earthscan, 2008.
- Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F.S.; Lambin, E.R.; Lenton, T.M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Shellnhuber, H.J.; Nykvist, b.; Wit, C.A. de; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P.K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R.W.; Fabry, V.J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P. e Foley, J. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475, 2009.
- Rogich, D.G. Material use, economic growth, and the environment. *Nonrenewable Resources* 5 (4): 197-210, 1996.
- Schandl, H. e West, J. Resource use and resource efficiency in the Asia-Pacific region. *Global Environmental Change*, v. 20, p. 636-647, 2010.
- Sieferle, R.P. *The subterranean forest: energy systems and the Industrial Revolution*. Nature in retrospective: a history of man and his environment. Cambridge, UK: White Horse Press, 2001.
- UNEP (United Nation Environment Programme). *Global material flows and*



*resource productivity*. International Resource Panel, 2016.

UNEP (United Nation Environment Programme). *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*. International Resource Panel, 2011.

Valença, M.M., 1998. The lost decade and the Brazilian government's response in the 1990s. *J. Dev. Areas* 33 (1), 1–52.

West, J. e Schandl, H. Material use and material efficiency in Latin America and the Caribbean. *Ecological Economics*, v. 94, p. 19-27, 2013.

World Bank. World Development Indicators. World Bank, 2016.