



Revista Ciências Sociais em Perspectiva – v. 23, n. 44 – 1º Sem. 2024

Crescimento econômico, perfil sociometabólico e performance ambiental: uma análise para o BRICS (1970-2017)

DANIEL CAIXETA ANDRADE e TIAGO FARIAS SOBEL¹

Resumo: Este trabalho teve como objetivo traçar o perfil sociometabólico do grupo de países conhecido pela sigla BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). A intenção é compreender a dinâmica de evolução biofísica destes países e sua relação com o PIB. Para tanto, usou-se uma abordagem de sociometabolismo, convergente com a economia ecológica, e que usa a contabilidade de fluxo de materiais para mensurar o metabolismo dessas economias em termos de matéria e energia consumida. Os resultados mostraram que no período entre 1970 e 2017 houve um crescimento expressivo no consumo de materiais, fazendo com que o aumento da economia biofísica agregada do grupo BRICS superasse o crescimento biofísico da economia mundial. Os dados também mostraram que o PIB do BRICS cresceu mais rápido do que o crescimento no consumo de materiais no período analisado. Isto significa que, no agregado, houve uma maior eficiência no uso de matéria e energia. Todavia, ao se olhar os resultados individuais, percebeu-se que o Brasil – na contramão do grupo – apresentou uma tendência de intensificação material de sua economia.

Palavras-chave: Sociometabolismo. Eficiência Material. Sustentabilidade. BRICS.

Economic growth, socio-metabolic profile, and environmental performance: an analysis for the BRICS

Abstract: This article is aimed at measuring the socio-metabolic profile of the countries known by the acronym BRICS (Brazil, Russia, India, China, and South Africa). Our main goal is to understand the dynamics of the biophysical evolution of these countries and its relationship with economic variables (mainly GDP). A socio-metabolism approach was used, which converges with ecological economics. We employ a material flow accounting to measure the metabolism of these economies in terms of materials and energy consumed. The results showed that in the period between 1970 and 2017, there was significant growth in the consumption of materials, which made the increase in BRICS' aggregate economy higher than the biophysical growth of the world

¹ Daniel Caixeta Andrade é professor associado do Instituto e Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia (IERI-UFU). Tiago Farias Sobel é professor adjunto do Departamento de Economia da Universidade Federal da Paraíba (DECON/UFPB)

Endereço: daniel.andrade@ufu.br.

economy. The data also showed that the BRICS' GDP grew faster than the material consumption growth in the analyzed period. This means that, in the aggregate, there was greater efficiency in the use of matter and energy. However, when looking at the individual results, it was noticed that Brazil – against the group's trend – presented a movement of material intensification of its economy.

Keywords: Research Groups. CNPq. Relationships with Companies. Private Educational Institutions.

Recebido em: 02/08/2023 – **Aprovação:** 07/12/2023

1 INTRODUÇÃO

Desde o seu advento no final da década de 1980, a visão da economia ecológica de que o sistema econômico é um subsistema envolvido pelo ecossistema global trouxe algumas implicações importantes para a análise da relação entre economia e meio ambiente. A partir disso, os conceitos de escala e de fluxo material e energético (*throughput*) permutado entre os dois sistemas – natural e econômico – tornaram-se imprescindíveis para uma análise econômico-ecológica combinada (ANDRADE et al, 2018).

Na visão econômico-ecológica, a ideia de escala da economia pode ser entendida, basicamente, como o tamanho relativo do sistema econômico em relação ao ecossistema global que lhe contém e sustenta (DAILY; FARLEY, 2004). Apesar de ser de grande relevância a determinação do tamanho real de uma economia em termos biofísicos, sua mensuração sob esta ótica nem sempre é trivial. Afinal, qual a magnitude de recursos naturais (matéria) e energia necessária para suportar as atividades econômicas?

De acordo com Malghan (2006), a escala (ou tamanho) de uma economia pode ser medida pelo lado das fontes de recursos (*source-side*) e pelo lado dos resíduos do sistema econômico (*sink-side*). No primeiro caso, a escala da economia diz respeito à capacidade de o ecossistema suportar um dado nível de *throughput*. Já no segundo caso, a escala corresponde à capacidade de o ecossistema assimilar os resíduos e a poluição provenientes do sistema econômico.

Partindo de uma análise da escala pela ótica *source-side*, esse trabalho objetiva investigar o fluxo doméstico de materiais consumidos em cinco países emergentes: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, os quais compõem o bloco econômico BRICS. O interesse no estudo desse grupo de países se justifica na medida em que essas economias foram as que mais cresceram nas últimas décadas, com perspectivas de ultrapassar o grupo dos atuais países ricos até 2050 (GOLDMAN SACHS, 2001). Além disso, tais países formam uma boa amostra do processo de *catch-up* sociometabólico em curso nos países em desenvolvimento, razão pela qual a análise do perfil sóciometabólico do BRICS pode ajudar a compreender a dimensão dessas economias em termos de apropriação material-energética ao longo do tempo e os desdobramentos em termos de sustentabilidade ambiental global.

A hipótese que orienta o trabalho é de que fenômenos econômicos (como *booms* de crescimento ou crises econômicas) têm rebatimentos sobre o perfil sociometabólico dos países. Por perfil sociometabólico entende-se a quantidade de matéria e energia extraídas, consumidas e descartadas pelo sistema econômico. O padrão de apropriação de matéria e energia determina, em última instância, o potencial de degradação ambiental – ou performance ambiental – de um país. Há, portanto, uma intrínseca relação entre crescimento econômico, perfil sociometabólico e performance ambiental.

O trabalho está dividido em três seções, além desta introdução e das considerações finais. A segunda seção apresenta, de maneira sucinta, o embasamento teórico do artigo. Em seguida, a terceira seção apresenta os materiais e métodos utilizados. A quarta seção apresenta e discute os resultados, apresentando também uma análise sobre a relação entre crescimento econômico, população e consumo doméstico de materiais. As considerações finais encerram o trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção objetiva apresentar o embasamento teórico deste artigo. Em primeiro lugar, apresenta-se o conceito de escala, considerada como uma categoria analítica diferenciadora da economia ecológica. Em seguida, discute-se a ideia de sociometabolismo, abordagem convergente com a economia ecológica (ARAÚJO et al. 2019) e utilizada em estudos que investigam as relações entre sistemas econômicos e sistemas naturais.

2.1 O conceito de escala

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 dos benefícios oriundos da expansão física da economia? (DALY, 1999).

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 à expansão contínua do sistema econômico, além da 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 gerada pelo do sistema econômico).

Para Daly (1999), 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 à questão de qual é 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 à questão de qual é 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.

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; VALE, 2014). No entanto, a incorporação destas distinções ainda não responde integralmente à 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.

2.2 O sociometabolismo

A importância da abordagem sociometabólica – ou sociometabolismo (ou ainda metabolismo socioeconômico) – reside na premissa básica de que informações quantitativas e qualitativas sobre as interações entre ecossistemas (ou genericamente o mundo natural) e as

sociedades e sistemas econômicos historicamente estabelecidos são necessárias para a operacionalização e estabelecimento de estratégias para o desenvolvimento sustentável (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1998). Por outro lado, análises sociometabólicas podem fornecer importantes distinções em termos de culturas, modos de vida, padrões de produção e reprodução das sociedades.

Fischer-Kowalski (1998) realizou um importante levantamento dos trabalhos da área de sociometabolismo, seus autores e tradições. A autora chama a atenção para algumas questões importantes sobre a apropriação do conceito de metabolismo em outras áreas. Segundo esta autora, os primeiros trabalhos encontrados datam da década de 1860, nas áreas de biologia, ecologia, teoria social, antropologia cultural e geografia social. São estes, principalmente, que serão a base para os estudos sobre metabolismo industrial elaborados a partir de 1960, ainda que só a partir de 1980 este paradigma se tornaria relevante para as análises da relação sociedade-natureza.

No âmbito das ciências sociais, o conceito de metabolismo foi primeiramente utilizado por Marx e Engels, no século XIX, a partir da análise do processo de trabalho, na perspectiva de que esse tem como objetivo transformar/adequar substâncias naturais às necessidades dos homens. Marx, em outra situação, utiliza o conceito de metabolismo social para ilustrar o intercâmbio de mercadorias e as relações de produção na sociedade. Entretanto, a limitação do uso desse conceito pelos autores está em não tratar as consequências e outras características de importância ecológica (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1998; FOSTER, 2015).

Dentre os estudos mais importantes entre os anos 1970 a 1998 relacionados ao conceito mais geral de metabolismo social, Fischer-Kowalski e Hüttler (1998) fazem um levantamento e qualificação desses trabalhos por meio de vários critérios que deixam mais claras as várias abordagens tratadas. Três subdivisões são elencadas: 1ª) socioeconômica (mais ligada às ciências sociais) ou ecossistêmica (mais ligada à perspectiva ecológica); 2ª) nível de sistema (global, nacional, regional, funcional e temporal); e 3ª) fluxos tratados (materiais, energia, substâncias). Este trabalho claramente se enquadra na primeira categoria (socioeconômica), uma vez que busca explicitamente vincular o desempenho socioeconômico de economias selecionadas (o grupo BRICS) à dimensão biofísica das mesmas. Por certo, análises sociometabólicas podem fornecer informações úteis sobre os contextos sociais vividos por diferentes sociedades, além de pistas sobre a sustentabilidade dos processos econômicos.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Para atingir seu principal objetivo – traçar o perfil sociometabólico do grupo BRICS – este trabalho utiliza como método a Contabilidade de Fluxo de Materiais (Material Flow Analysis – MFA), que pode ser definida como o estudo de fluxos de matérias em escala global, nacional,

regional, industrial e até por domicílios, tendo como objetivo rastrear, por meio de indicadores, o fluxo material das ações antrópicas no meio ambiente, fundamentais para o planejamento, previsão, gestão e avaliação das atividades econômicas (KRAUSMANN et al., 2017). O artigo foca exclusivamente o Consumo Doméstico de Materiais (CDM), muito embora existam outros indicadores dentro da MFA2. O CDM denota o consumo aparente, não o final, e representa todos os materiais que foram trazidos para o sistema econômico e lá permanecem, até a liberação para o meio ambiente. Pode-se afirmar que o indicador representa o equivalente a um “PIB físico” (EUROSTAT, 2007; WEISZ et al., 2007).

As informações referentes ao fluxo de materiais foram coletadas da base de dados The Material Flow Analysis Portal (2018), construída pela Universidade de Viena. O período de análise é 1970-2017 em função da disponibilidade de dados. O CDM, variável chave neste trabalho, mede a quantidade total de materiais usados dentro de um sistema econômico. Assim, o CDM é igual à soma da extração doméstica com as importações, subtraindo-se as exportações ($CDM = ED + M - X$, em que ED é extração doméstica, M representa as importações e X as exportações). As principais categorias que compõem o CDM são biomassa, combustíveis fósseis, minerais metálicos e minerais não-metálicos, cujas definições são as seguintes:

- i) Biomassa: corresponde ao conjunto de material orgânico não fóssil de origem biológica necessário para a produção humana, pastagens, silvicultura e pesca;
- ii) Combustíveis fósseis: compreende todos os materiais formados a partir da biomassa no passado geológico e seus derivados, tais como o carvão, petróleo bruto, gás natural, e produtos fabricados a partir de combustíveis fósseis, como plásticos e borracha sintética;
- iii) Minerais metálicos: corresponde à classe de minerais metálicos e os produtos fabricados a partir deles, como ferro, alumínio e cobre, comumente utilizados nas indústrias siderúrgicas e metalúrgicas;
- iv) Minerais não metálicos: abrange os minerais que não contêm metal em sua composição, classificados em: materiais de construção, matérias-primas de fertilizantes e minerais industriais. Podem estar tanto na forma primária (por exemplo, areia, cascalhos, pedras, calcário), quanto processados (como vidro, cimento, concreto, entre outros).

² Como Extração Doméstica, Entrada Direta de Material ou Exigência Total de Material. Por ser o indicador mais utilizado em trabalhos desta natureza, este artigo optou pela utilização do CDM como indicador representativo do fluxo de materiais das economias selecionadas.

Além das informações do CDM dos países selecionados, utilizou-se também dados retirados do World Development Indicators (2018), do Banco Mundial, sobre população e PIB destes países. De posse de tais informações, calculou-se dois indicadores: a Intensidade Material (IM) e a taxa metabólica (TM). A IM é o quociente entre o CDM e o PIB do país analisado, sendo, portanto, dada em kg/US\$. É um indicador de eficiência material de uma economia, pois indica seu potencial de desmaterialização. Idealmente, o país deve apresentar uma IM declinante ao longo tempo, sugerindo que se gasta cada vez menos matéria e energia para produzir uma unidade monetária de PIB. Isto é, um IM decrescente ao longo do tempo (pressupondo um PIB crescente) indica uma maior eficiência no uso de matéria e energia. A TM, por sua vez, é um indicador que mede o consumo de material per habitante, sendo expressa em toneladas per capita.

Após ser analisada as taxas de crescimento do consumo doméstico de materiais, do PIB e da população, bem como a taxa metabólica e a intensidade material das cinco economias emergentes que compõem o grupo BRICS, foi feita a estimação de um modelo econométrico que relaciona o consumo interno de materiais com o PIB de cada país.

$$\Delta \log \text{Consmat}_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log \text{PIB}_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em (1): *Consmat* é o consumo doméstico de materiais em cada país; *PIB* é o produto interno bruto e Δ é o operador de diferenças. ε_t é um ruído branco.

4. RESULTADOS

Esta seção apresenta e discute os resultados do trabalho. Inicialmente é feita uma análise sobre as tendências do CDM agregado no grupo BRICS para o período de 1970-2017. Em seguida, são apresentados os resultados para a IM e TM para cada país em separado. A última subseção traz os resultados do exercício econométrico realizado.

4.1 Dinâmica do consumo doméstico de materiais no BRICS (1970-2017)

A Figura 1 a seguir mostra o CDM no BRICS. Percebe-se que, desde a década de 1970, o fluxo de materiais consumidos internamente apresentou uma tendência de elevação, com uma taxa de crescimento acumulada de 939,42% no período 1970-2017 (~ 4.744 milhões de toneladas em 1970 para ~ 49.316 milhões de toneladas em 2017). O período que o fluxo de material consumido internamente teve maior crescimento foi 2001-2010 – década marcada pela grande expansão que as economias emergentes tiveram – chegando a 81,72% no acumulado e a 5,86% no anualizado. É importante salientar que a mudança da tendência de crescimento na Figura 1 que acontece no ano de 1991 para 1992 se deve à participação da Rússia no consumo doméstico total

de materiais do grupo. Antes de 1992, o CDM apresentado se refere aos outros quatro países (Brasil, Índia, China e África do Sul).

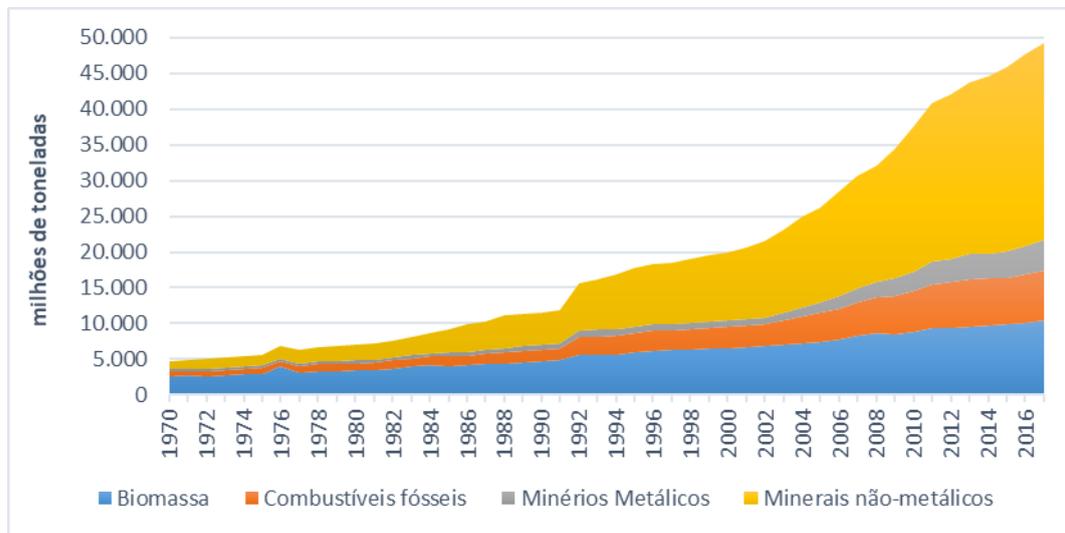


Figura 1 – Consumo doméstico de materiais (CDM) no BRICS em milhões de toneladas (1970-2017).

Fonte: The Material Flow Analysis Portal (2018).

Quando se analisa o crescimento do fluxo de materiais por categoria, constata-se que as maiores taxas de crescimento durante todo o período analisado foram dos minérios metálicos e dos combustíveis fósseis com 1.130,78% e 1.046,97%, respectivamente. A biomassa foi a categoria de material que menos cresceu até o ano de 2017, com 298,31%.

Em termos da evolução anual do consumo de materiais CDM (Figura 2), nota-se, na Figura 2, uma grande variação nas quatro categorias. Contudo, é possível destacar, no ano de 1976 há uma elevação considerável no CDM que se refletiu em uma taxa de crescimento expressiva para todos os tipos de materiais, principalmente para biomassa, cujo incremento foi de 31,38%. No entanto, em 1977 a biomassa apresentou um decréscimo que chegou a quase 20%. Em 1992, com a inclusão dos dados da Rússia na série analisada, observa-se tem-se o ponto de máximo no gráfico para três categorias de materiais, à exceção da biomassa. O destaque fica por conta dos combustíveis fósseis que cresceram 53,84%. Tal fato já era esperado para esse ano, uma vez que a Rússia é um dos maiores produtores de energia do mundo e as fontes fósseis representam 94,9% de sua produção total (IEA, 2013).

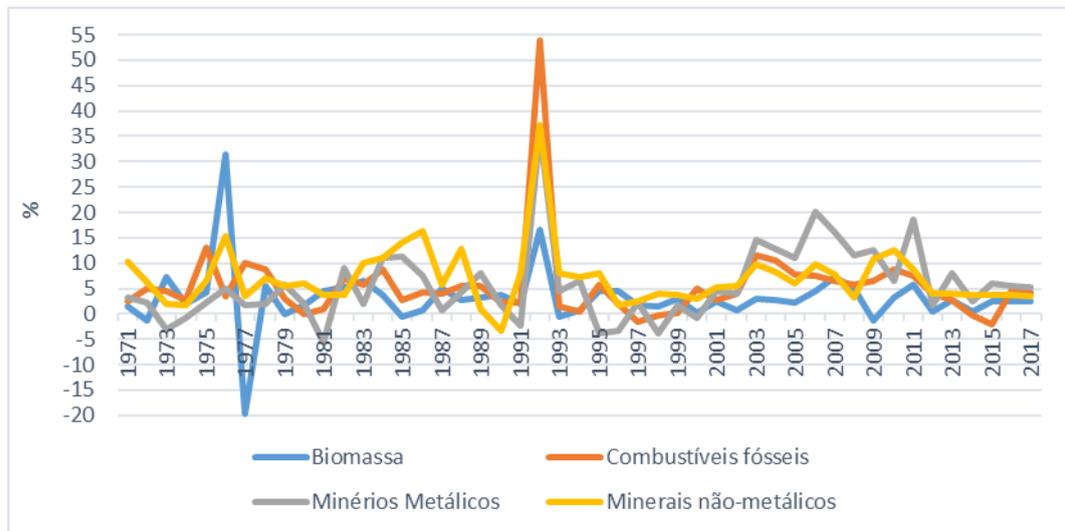


Figura 2 – Taxa de crescimento anual do CDM por categoria no BRICS (1971-2017).

Fonte: The Material Flow Analysis Portal (2018).

A partir de 2000 percebe-se uma clara elevação na taxa de crescimento dos minérios metálicos e dos minérios não metálicos (Figura 2). Há que se lembrar que nessa década (2000-2010) os países do BRICS estavam em um processo vigoroso de elevação de suas rendas nacionais, tendo como principal elemento a construção de uma infraestrutura interna baseada em telecomunicações, transportes, energia, água e saneamento básico (GOLDMAN SACHS, 2008).

A composição dos fluxos de consumo doméstico nos países do BRICS é exibida na Figura 3 a seguir. Em 1970, a categoria que apresentava maior participação no CDM era a da biomassa (recursos renováveis) com aproximadamente 55% do total. De 1975 para 1976 a parcela da biomassa cresceu na composição total do fluxo de materiais (~ 2.962 milhões de toneladas para ~ 3.892 milhões de toneladas), chegando a ~ 57% do total, enquanto a dos combustíveis fósseis tiveram sua participação reduzida de 14% para 12% no total. É importante ressaltar que nesse biênio os países subdesenvolvidos ainda sofriam os efeitos da primeira crise do petróleo, ocorrida em 1973-1974, e que esse aumento na participação da biomassa representa um esforço desse grupo de países para atenuar as consequências da elevação do preço do petróleo, tornando-se menos dependente desse insumo energético.

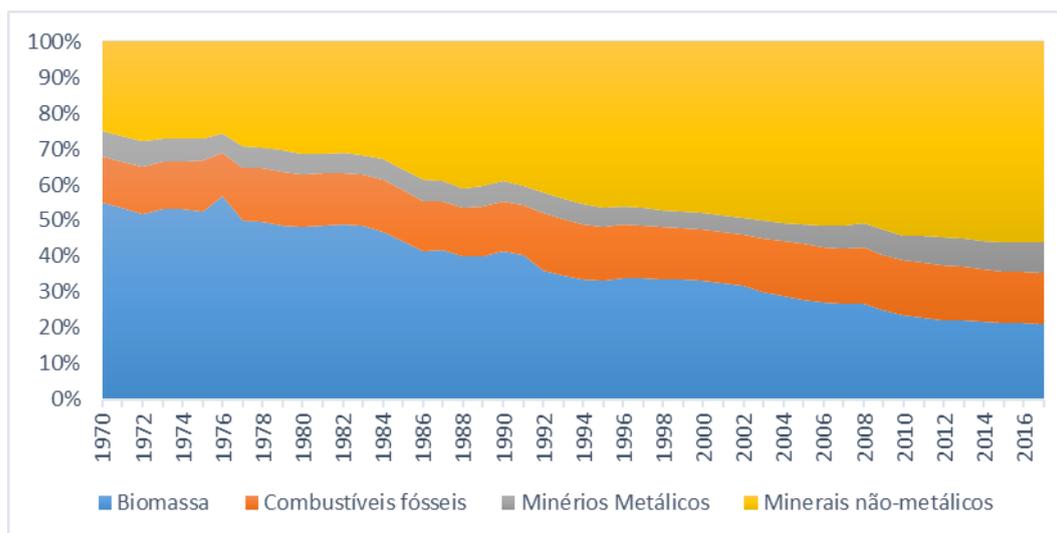


Figura 3 – Composição dos fluxos de consumo doméstico no BRICS (1970-2017).

Fonte: The Material Flow Analysis Portal (2018).

O grupo dos combustíveis fósseis e dos minérios metálicos apresentaram participações constantes ao longo do tempo, compondo, cada um, respectivamente, 14% e 8% do total do CDM em 2017. Por fim, tem-se o grupo dos minerais não metálicos, os quais representam materiais de construção em geral, (. Essa categoria) foi a que mais incrementou a sua participação na composição total do fluxo de consumo doméstico no BRICS, passando de 25% para 56% do CDM, entre 1970 e 2017. Isso demonstra que o grupo BRICS aumentou consideravelmente o consumo de minerais não metálicos em detrimento das outras categorias de materiais, especialmente da biomassa, cuja participação reduziu de 55% em 1970, para aproximadamente 21% no fim da série. Como já destacado, a demanda por minerais não metálicos nesses países resultou do estímulo a projetos de infraestrutura que ganhou força (se iniciou) nos anos de 1970, sendo este processo aprofundado na década de 2000.

Em termos relativos, quando se compara o consumo doméstico de materiais no BRICS com o do mundo (Figura 4) percebe-se claramente a elevação da escala das economias emergentes vis-à-vis o tamanho da economia global. Em 1970, os países do BRICS consumiam 17,70% do fluxo total de material. No ano de 1995 a participação dessas economias já era de mais de 35%, chegando em 2017 com 53,67% do consumo total de materiais no mundo. Ao longo de todo o período analisado, enquanto o metabolismo da economia mundial acumulou um crescimento de pouco mais de 200%, os países do BRICS totalizaram um aumento no volume de materiais consumidos internamente de ~ 939%.

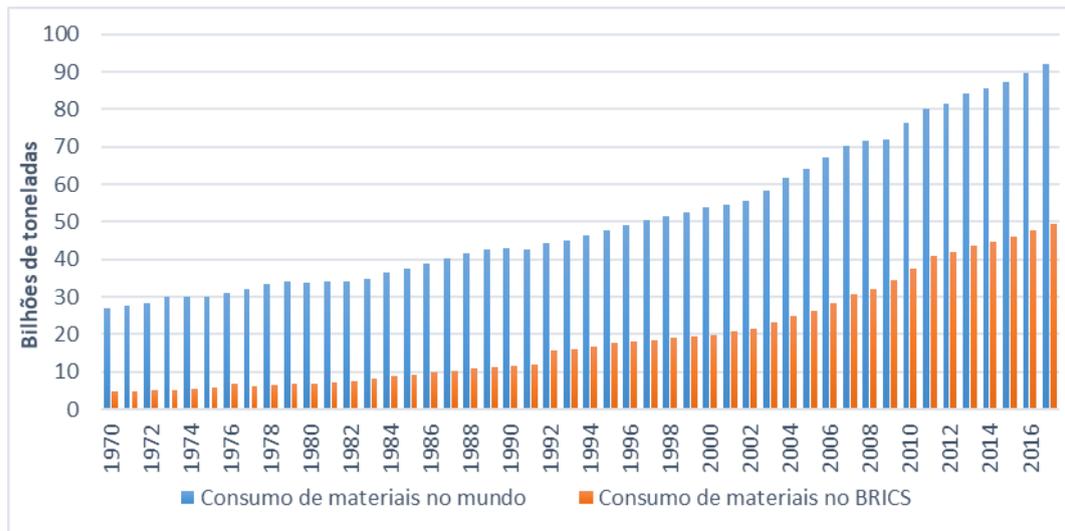


Figura 4 – Consumo doméstico de materiais no BRICS e no mundo em bilhões de toneladas (1970-2017)

Fonte: The Material Flow Analysis Portal (2018).

Este resultado sugere importantes questões em termos de sustentabilidade ambiental global. De um lado, sob o ponto de vista das condições de vida e bem-estar das populações dos países em desenvolvimento (BRICS aí incluídos), o expressivo incremento no CDM no BRICS é bem-vindo e desejável, uma vez que o alívio da pobreza requer um padrão mínimo de conforto material. Por outro lado, deve-se ter em conta os impactos ambientais associados aos processos de apropriação da matéria e energia (atividades extrativas, basicamente).

A título de ilustração, a pegada ecológica agregada de Brasil, China, Índia e África do Sul aumentou em 214,6% entre os anos de 1970 e 2009, enquanto que no mesmo período a pegada ecológica mundial aumentou “apenas” 69,8%, conforme dados disponibilizados pela Global Footprint Network (NFBA, 2014)³. A rápida ascensão econômica e o conseqüente aumento do sociometabolismo dos países emergentes – isto é, o aumento da apropriação material-energética destes países para suportar seus processos de crescimento econômico – impõe desafios no sentido de conciliar a legítima aspiração de superação da pobreza com a necessidade de alcançar tal objetivo por meio de trajetórias evolutivas mais sustentáveis.

4.2 Intensidade material e taxa metabólica no BRICS (1970-2017)

³ A pegada ecológica é um indicador de pressão ambiental geralmente utilizado para demonstrar a (in)sustentabilidade do consumo da população de um determinado território. Tecnicamente, “a pegada ecológica é uma medida da área biologicamente produtiva de terra e água que um indivíduo, população ou atividade requer para produzir todos os recursos que consome, acomodar sua infraestrutura urbana ocupada e absorver os resíduos que gera, usando tecnologia e práticas de gerenciamento de recursos existentes” (NFBA, 2014, s.p).

Nesta seção será explorada a relação subjacente entre consumo de materiais, crescimento econômico e população nos países do grupo BRICS. Os dados dessas duas últimas variáveis foram extraídos da base de dados World Development Indicators (2018), do Banco Mundial. O PIB está mensurado em dólares constantes de 2010.

A Figura 5 a seguir mostra a trajetória de crescimento econômico, do consumo interno de materiais e da população do BRICS. Nota-se que o CDM acompanha de perto o crescimento do PIB, sugerindo a dependência que a variável de crescimento econômico tem do uso doméstico de materiais no período analisado. O PIB cresceu a uma taxa geométrica de 6,43% durante 1970-2017. O CDM cresceu a uma taxa média anual de 5,22%. A população teve sua taxa de crescimento anual estável, como já era esperado. O crescimento acumulado de 1970-2017 dessa variável totalizou 110,47% (~ 1,5 bilhões de pessoas em 1970 para ~ 3,1 bilhões de pessoas no ano de 2017), o que representa um crescimento médio anual de 1,63%.

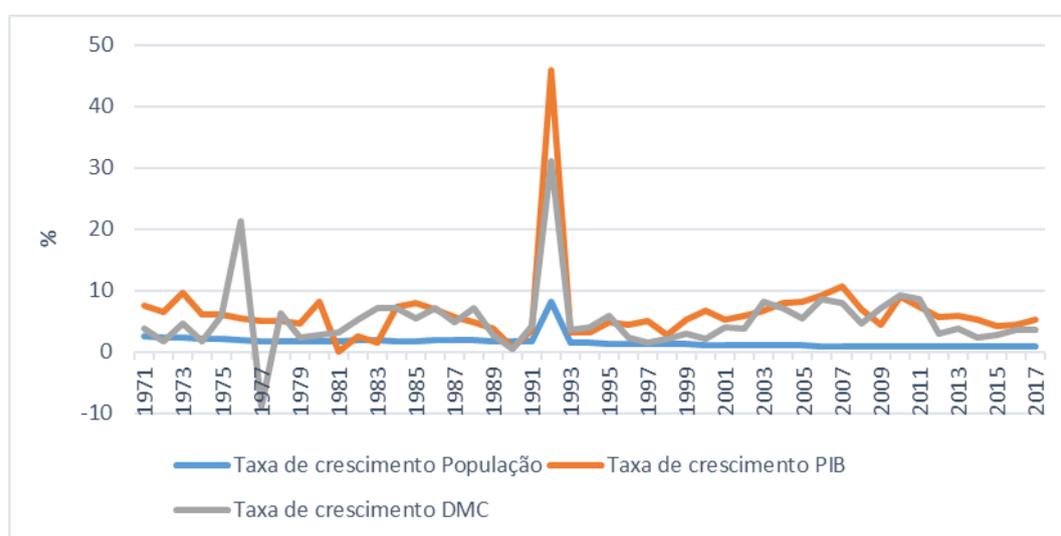


Figura 5 – Evolução da taxa de crescimento do PIB, população e consumo de materiais no BRICS.

Fonte: World Development Indicators (2018) e The Material Flow Analysis Portal (2018)

A década de 1970-1980 apresentou uma taxa de crescimento do PIB mais ou menos estável. O CDM variou bastante nessa mesma década, apresentando um ponto de máximo no ano de 1976 com um crescimento de quase 22%. Já em 1977, ocorre seu ponto de mínimo com um decréscimo de mais de 8%. Quando se olha o crescimento por categoria de materiais, nota-se que a biomassa foi a responsável por essa grande variação no consumo doméstico.

O período de 1991-2000 foi o que apresentou a maior taxa média de crescimento anual do PIB, com 8,38%, embora se saiba que a inclusão da Rússia no conjunto dos dados, a partir de 1992, nitidamente, tenha contribuído para essa taxa de crescimento. Nesse mesmo período, também influenciado pela supracitada inclusão da Rússia, o consumo interno de materiais CDM cresceu a uma taxa de 5,86% ao ano.

De 2001 a 2010 teve-se o período que o CDM apresentou a maior taxa de crescimento, com 81,72% no acumulado e 6,86% no anualizado. Esse também foi um dos períodos de maior expansão das economias (emergentes) dos países analisados (94,54% no acumulado e 7,67% no anualizado). No período 2011-2017 houve uma queda na taxa de crescimento do consumo interno de materiais e do PIB, resultado da crise financeira dos sub-primés iniciada nos EUA em 2008-2009, mas que se propagou para as economias emergentes pós-2010 (GÓMEZ et. al., 2012).

No intuito de analisar a relação entre consumo interno de materiais, PIB e população calculou-se dois indicadores para o grupo de economias do BRICS, quais sejam, a intensidade material (IM) e a taxa metabólica (TM). De acordo com Krausmann et. al. (2009), o primeiro desses indicadores indica a capacidade de desmaterialização de uma determinada economia, sendo interpretado, dessa forma, como uma medida de eficiência material, cuja unidade é dada em quilos por dólar (Kg/US\$). Por outro lado, TM mostra o consumo de materiais por pessoa, sendo dimensionada em toneladas per capita por ano.

A Tabela 1 mostra a taxa média de crescimento anual das variáveis selecionadas por período. Em todo o período analisado, o crescimento do PIB foi superior ao crescimento do CDM, à exceção da década de 1980, cuja taxa de crescimento foi de 5,25% para o CDM e 4,56% para o PIB. A taxa média de crescimento populacional foi a mais estável entre todas e apresentou seus valores máximos na década de 1970 e 1990. Há que se lembrar que em todos os períodos o crescimento do consumo interno de materiais foi superior ao crescimento da população, o que resulta diretamente em uma taxa metabólica ascendente.

Tabela 1 – Taxa média de crescimento médio do PIB, população, consumo doméstico de materiais, intensidade material e taxa metabólica no BRICS por período.

Variável	197	197	198	199	200	201
	0- 201	0- 198	1- 199	1- 200	1- 201	1- 201
	7	0	0	0	0	7
Taxa de crescimento anual do PIB (%)	6,4	6,4	4,5	8,3	7,6	5,1
Taxa de crescimento anual da população (%)	3	1	6	8	7	1
Taxa de crescimento anual do CDM (%)	1,6	2,0	1,8	2,0	0,9	0,8
	3	7	3	8	7	2
	5,2	3,9	5,2	5,8	6,8	3,2
	2	6	5	6	6	2
Intensidade Material (média em Kg/US\$/ano)		-	0,6	-	-	-
		2,3	6	2,3	0,7	1,8
		0		2	5	0

	-					
	1,1					
	4					
Taxa Metabólica (média em toneladas per capita/ano)	3,5	1,8	3,3	3,7	5,8	2,3
	3	5	5	0	3	7

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do World Development Indicators (2018) e The Material Flow Analysis Portal (2018).

Durante todo o período analisado, o consumo per capita de materiais apresentou taxa média de crescimento superior à unidade. Em 1970, a taxa metabólica de todo o grupo BRICS era de 3,18 toneladas por pessoa, enquanto em 2017 o consumo de materiais por habitante chega a 15,73 toneladas per capita, o que equivale a um crescimento acumulado de 393,86%, mostrando sua grande evolução ao longo do tempo.

As trajetórias individuais e agregada da taxa metabólica e da intensidade material para as economias do BRICS são mostradas na Figura 6. Analisando-se todos os gráficos percebe-se que o consumo per capita de materiais é permanentemente crescente no Brasil, Índia e China. No Brasil, em 1970 cada pessoa consumia ~ 5,74 toneladas de materiais e em 2017 esse consumo chegou a mais de 17 toneladas per capita, ou seja, uma taxa de crescimento acumulada de 202,60%.

A Rússia apresentou uma taxa metabólica declinante de 1992 até 1998, a qual resultou de dois movimentos conjuntos: declínio de sua população e queda no consumo doméstico de materiais. Contudo, a partir de 1999 as altas taxas de crescimento econômico propiciaram uma elevação na taxa metabólica desse país, que chegou a quase 17 toneladas per capita em 2017.

As maiores semelhanças entre as evoluções da taxa metabólica estão entre China e Índia com movimentos parecidos ao longo do tempo. A diferença fica por conta da proporção do consumo per capita de materiais sendo quase cinco vezes maior na China que na Índia. A taxa metabólica chega a mais de 25 toneladas per capita no primeiro país, enquanto no último é pouco mais de 5 toneladas por pessoa, ambas no ano de 2017. A China foi o país em que a taxa metabólica mais se expandiu durante o período analisado, com taxa média anual de crescimento de 5,08% e crescimento acumulado de 874,97% em toda a série. Isto é consequência do intenso processo de crescimento econômico vivido pela economia chinesa desde fim dos anos 1970.

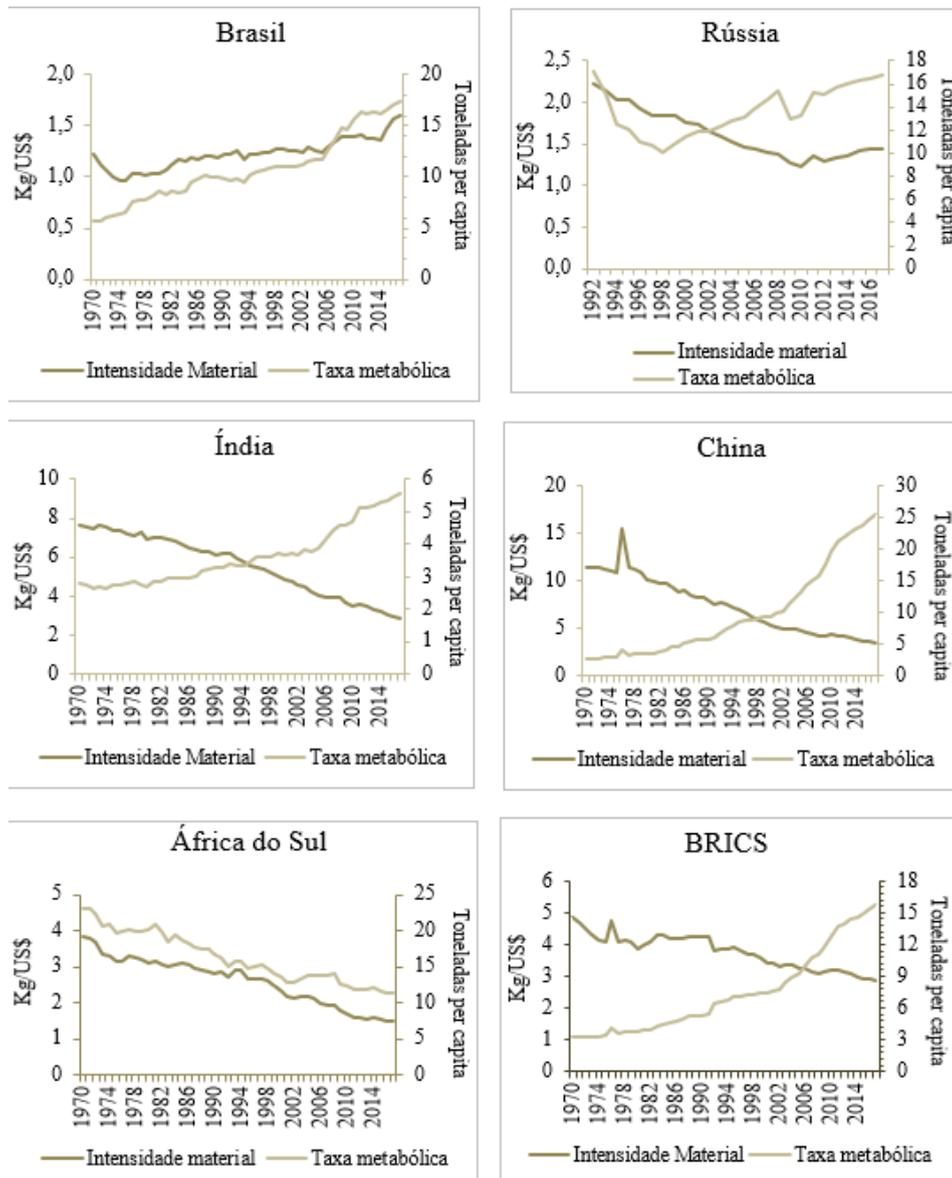


Figura 6 – Intensidade material (à esquerda) do consumo doméstico e taxa metabólica (à direita) no BRICS no período 1970-2017.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do World Development Indicators (2018) e The Material Flow Analysis Portal (2018).

Por fim, a África do Sul foi o único país do grupo que apresentou declínio em sua taxa metabólica de 1970 a 2017. Tal queda se deve a um crescimento constante e menos que proporcional do CDM em relação à ao crescimento de sua população. Em 1970, cada habitante desse país consumia ~ 23 toneladas per capita e em 2017 esse valor se reduziu para ~ 11 toneladas por pessoa, ou seja, um decréscimo de quase 51% ao longo de todo o período.

No que tange à intensidade material (IM), o único país que apresentou um crescimento ao longo do tempo foi o Brasil. A quantidade de material necessária para se produzir US\$ 1 passou de 1,2 Kg em 1970 para 1,6 Kg em 2017, ou seja, um crescimento de ~ 30% ao longo desses anos. Isto mostra que a economia brasileira foi a única no grupo que não fez progressos em relação à sua eficiência material e energética. Este é um dado preocupante que desmistifica a narrativa de

que o Brasil é um país ambientalmente sustentável. Apesar do seu potencial em termos de sustentabilidade – com uma matriz elétrica majoritariamente renovável e ser um país megadiverso –, o país demonstra ter dificuldade em incrementar a produtividade com a qual os seus recursos são utilizados, quando comparado ao grupo de países analisados. Tal fato pode estar relacionado ao processo precoce de desindustrialização precoce pela qual o Brasil vem passando nas últimas quatro décadas (OREIRO; FEIJÓ, 2010).

Os outros quatro países do grupo declinaram suas respectivas intensidades materiais. Dentre esses, a Rússia é a única nação que está com uma tendência de crescimento em sua intensidade material a partir de 2012. A Índia e China foram os países que apresentaram maior declínio em suas intensidades materiais. Enquanto em 1970 as economias indiana e chinesa necessitavam de 7,63 Kg e 11,40 Kg para produzir US\$ 1, em 2017 essa proporção se reduziu para 2,82 Kg e 3,46 Kg, respectivamente. Isto é, a intensidade material na Índia se reduziu em ~ 63% e quase 70% na China durante todo o período analisado. A África do Sul, por sua vez, conseguiu reduzir seu indicador de intensidade material para menos da metade ao longo de toda a série (3,82 Kg/US\$ em 1970 para 1,50 Kg/US\$ em 2017).

4.3 Estimativa da elasticidade da demanda por materiais

É importante salientar que, apesar deste artigo tratar das cinco economias emergentes, as quais compõem o grupo BRICS, o exercício econométrico feito a seguir não abrangerá a Rússia. Tal fato se deve à incompatibilidade dos dados dessa economia com a estimação via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)⁴. Logo, a estimação para os outros quatro países foi feita com as variáveis em logaritmo, de forma que os coeficientes obtidos representam as elasticidades da demanda por materiais em relação ao PIB em cada país. Sendo assim, o modelo econométrico possui o CDM como variável dependente e o PIB como variável explicativa. Além disso, o modelo possui um termo de erro aleatório com média zero e variância constante (equação 1 da seção de material e método).

Ao se trabalhar com séries temporais, o primeiro passo é realizar os testes de raiz unitária para avaliar se as séries do modelo são estacionárias ou não. Basicamente, um processo estocástico é estacionário se suas média e variância forem constantes ao longo do tempo e o valor da covariância entre dois períodos depender apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos, e não do período de tempo efetivo em que a covariância é calculada (ENDERS, 2015).

Segundo Greene (2002), caso as séries sejam não estacionárias a estimação poderá ser espúria, ou seja, os coeficientes apresentarão sinais e valores conforme esperado pela teoria, mas

⁴ Dentre os problemas apresentados estão o tamanho reduzido da amostra (< 30) e a presença de autocorrelação serial nos resíduos do modelo econométrico.

após ser feita uma averiguação mais detalhada poderá se constatar problemas nos resíduos da regressão, especialmente, presença de autocorrelação e ausência normalidade.

Contudo, os testes de raiz unitária pressupõem o conhecimento do número de defasagens, uma vez que é necessário garantir que os resíduos da regressão sejam não correlacionados e, conseqüentemente, os resultados sejam não viesados. Dessa forma, o primeiro passo foi selecionar o número de defasagens ideal para cada modelo com base nos critérios de informação propostos por Akaike (1974), Schwarz (1978) e Hannan e Quinn (1979).

Tabela 2 – Critério de informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn (número de defasagens)

País	Akaike (AIC)	Schwarz (SC)	Hannan-Quinn (HQ)
Brasil	0	0	0
Índia	0	0	0
China	1	0	1
África do Sul	1	0	1

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Tabela 2 acima, os três critérios de informação indicaram que os testes e os modelos para o Brasil e Índia não necessitam de nenhuma defasagem. Já para a China e África do Sul, os critérios de informação de Akaike e Hannan-Quinn apontaram para uma defasagem nos testes de raiz unitária e na estimação do modelo econométrico.

Os testes de raiz unitária aplicados neste trabalho foram o Dickey-Fuller GLS (DF-GLS) e o Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS). A hipótese nula do teste DF-GLS, proposto por Elliot et. al. (1996), é de um processo estocástico não estacionário (ou de raiz unitária). Já o teste KPSS, de Kwiatkowski et. al. (1992), tem como hipótese nula a estacionaridade das séries temporais, isto é, ausência de raiz unitária. Cabe ressaltar, ainda, que todos os testes foram feitos adotando-se a especificação mais geral que inclui uma constante e uma tendência determinística.

O Quadro 1 a seguir exhibe os dois testes de raiz unitária aplicados nas variáveis em nível. Considerando-se um nível de significância $\alpha = 5\%$, conclui-se, pelos dois testes, que tanto o PIB como o consumo doméstico de materiais apresentam raiz unitária em nível, ou seja, são variáveis que não seguem um passeio aleatório e, portanto, são não estacionárias.

Quadro 1 – Testes DF-GLS e KPSS para as variáveis em nível (especificação com constante e tendência)

País	Variável	DF-GLS	KPSS	Conclusão
------	----------	--------	------	-----------

Brasil	PIB	-1,5753	0,1584**	Não estacionária
	Consumo de materiais	-1,5407	0,1746**	Não estacionária
Índia	PIB	-0,7635	0,3210***	Não estacionária
	Consumo de materiais	-2,2728	0,1745**	Não estacionária
China	PIB	-1,9289	0,1719**	Não estacionária
	Consumo de materiais	-3,4089	0,0697	Não estacionária
África do Sul	PIB	-1,9830	0,1955**	Não estacionária
	Consumo de materiais	-2,3393	0,2045**	Não estacionária

Nota: (***) e (**) indicam que os valores são estatisticamente significantes a 1% e 5%, respectivamente.

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez verificado que as variáveis são estacionárias em nível, partiu-se para os testes de raiz unitária na primeira diferença. Os testes para verificar a estacionaridade das séries temporais na primeira diferença são importantes para determinar a ordem de integração das variáveis. O Quadro 2 mostra os testes DF-GLS e KPSS aplicados na primeira diferença das duas variáveis do modelo.

De acordo com o Quadro 2 e considerando-se um nível de significância $\alpha = 5\%$, o resultado do teste DF-GLS apontou para a rejeição da hipótese nula de presença de raiz unitária. Por outro lado, as estatísticas do teste KPSS indicaram a não rejeição da hipótese nula de estacionaridade. Dessa forma, conclui-se pelos dois testes que as variáveis PIB e consumo de materiais não apresentam raiz unitária na primeira diferença.

Quadro 2 – Testes DF-GLS e KPSS para as variáveis na primeira diferença (especificação com constante e tendência)

País	Variável	DF-GLS	KPSS	Conclusão
Brasil	PIB	-4,4326***	0,1318*	Estacionária

	Consumo de materiais	- 6,0317***	0,0868	Estacionária
Índia	PIB	- 6,8673***	0,0619	Estacionária
	Consumo de materiais	- 7,8825***	0,0608	Estacionária
China	PIB	-3,3171**	0,1474*	Estacionária
	Consumo de materiais	- 4,1304***	0,0574	Estacionária
África do Sul	PIB	- 4,4502***	0,1047	Estacionária
	Consumo de materiais	- 7,4615***	0,0358	Estacionária

Nota: (***), (**) e (*) indicam que os valores são estatisticamente significantes a 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Fonte: Elaboração própria.

Após ser constatado que todas as séries são estacionárias na primeira diferença, partiu-se para a estimação do modelo econométrico via MQO com as variáveis diferenciadas (equação 1). Os resultados são apresentados a seguir no Quadro 3. Com relação aos resíduos dos quatro modelos, cabe ressaltar que foram realizados todos os testes para verificar os pressupostos do modelo de regressão linear e não foram detectados problemas de autocorrelação, heterocedasticidade e ausência de normalidade. Dessa maneira, pode-se fazer inferência a respeito do coeficiente da variável de crescimento econômico sobre o consumo de materiais nos países selecionados.

Quadro 3 – Relação entre CDM e PIB do BICS1 no período 1970-2017

País	Variável	Coefficiente	Estatística t
Brasil	Constante	0,0221	3,913***
	logPIBBrasil	0,5259	4,893***
Índia	Constante	0,0005	0,0980
	logPIBÍndia	0,6015	6,1112***
China	Constante	-0,0002	-0,0221
	logPIBChina	0,7046	5,7400***
África do Sul	Constante	-0,0158	-2,2960**
	logPIBÁfrica	0,8307	3,8810***

Fonte: Elaboração própria.

Nota: (***) , (**) e (*) indicam que os valores são estatisticamente significantes a 1%, 5% e 10%, respectivamente. 1 Exceto a Rússia.

Considerando-se um nível de significância $\alpha = 5\%$, todos os coeficientes que mensuram a elasticidade da variável consumo interno de materiais foram estatisticamente significantes. No Brasil e Índia, para cada aumento de 1% no PIB, o consumo doméstico de materiais aumenta em 0,5259% e 0,6015%, respectivamente. Já na China e África do Sul, o consumo interno de materiais demonstrou ter uma relação mais forte com o crescimento chinês e sul-africano onde para cada aumento de 1% no PIB, ocorre uma elevação de ~0,70% e ~0,83%, respectivamente. Isso demonstra que o consumo doméstico de materiais no Brasil, Índia, China e África do Sul é inelástico em relação ao PIB, isto é, o consumo de materiais cresce menos que proporcional quando há uma elevação do PIB desses países.

Por fim, foi examinada a evolução do crescimento dessas duas variáveis, PIB e CDM, no período 1970-2017. Tal análise é importante na medida que mostrará se os países do BRICS estão conseguindo alcançar a eficiência material em seus processos de crescimento econômico. A Figura 7 exhibe a evolução do consumo de materiais e do PIB nos países do BRICS de 1970 a 2017. Pelo que se vê, o Brasil é o único país do grupo que se tornou menos eficiente no período analisado. Até 2004, o consumo doméstico de materiais e o PIB brasileiro apresentavam uma taxa de crescimento muito semelhante. A partir de 2005, há uma inclinação considerável na curva de consumo interno de materiais que altera a tendência de crescimento dessa variável. Portanto, de 2005 em diante, o que se percebe é uma materialização⁵ do crescimento econômico brasileiro, principalmente nos últimos anos da série com a queda do PIB do Brasil (crise econômica e política 2015 e 2016) e a permanente elevação do consumo doméstico de materiais.

⁵ Por materialização entende-se o incremento da intensidade material, o que significa que são necessários mais recursos naturais para obtenção de uma unidade monetária do PIB.

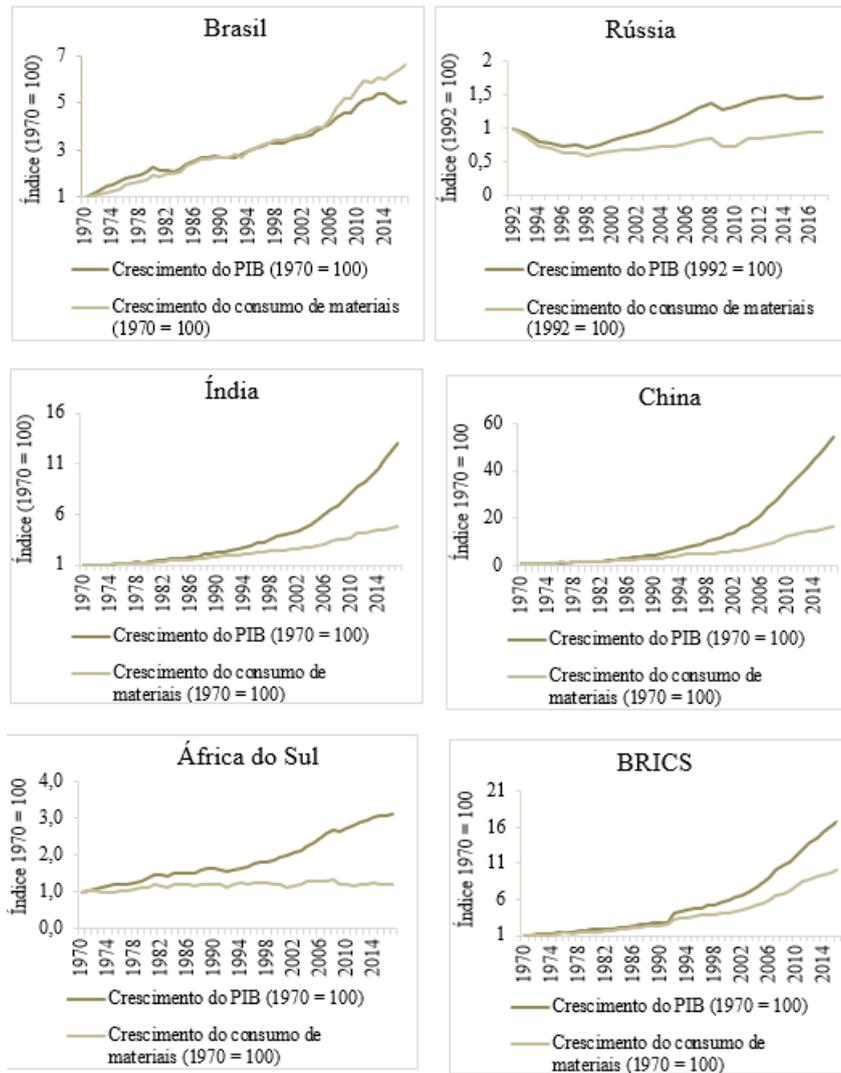


Figura 7 – Evolução do crescimento do consumo de materiais e do PIB no BRICS no período 1970-2017 (1970 = 1).

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do World Development Indicators (2018) e The Material Flow Analysis Portal (2018).

À exceção do Brasil, os outros quatro países do grupo estão conseguindo ser mais eficientes em seus processos de crescimento econômico. Na Figura 7, os gráficos da Rússia, Índia, China e África do Sul mostram que a curva de consumo doméstico de materiais cresce a um ritmo menos acelerado que a curva do PIB. Ou seja, esses países estão se tornando mais eficientes do ponto de vista econômico e ecológico, conseguindo realizar o chamado decoupling relativo, que é quando há um descolamento entre a atividade econômica e o uso de recursos naturais usados para a expansão da economia (UNEP, 2011).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo traçar o perfil sociometabólico do grupo de países conhecido pela sigla BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). A intenção foi compreender a dinâmica de evolução biofísica destes países e sua relação com variáveis

econômicas (principalmente o PIB). Para tanto, usou-se uma abordagem de sociometabolismo, convergente com a economia ecológica, e que usa a contabilidade de fluxo de materiais para mensurar o metabolismo dessas economias em termos de matéria e energia consumida.

Os dados mostraram que no período entre 1970 e 2017 houve um crescimento expressivo da economia agregada do grupo BRICS, superando o crescimento da economia mundial. Em 2017, o BRICS representou 53,67% de toda matéria e energia consumida no mundo. Conforme discutido, o aumento do sociometabolismo dos países do BRICS é bem-vindo do ponto de vista do alívio da pobreza e do conforto material de suas populações. Ao mesmo tempo, é preciso ter atenção aos impactos ambientais associados a um perfil metabólico mais intenso. A pegada ecológica agregada do BRICS vem crescendo em um ritmo maior vis-à-vis a pegada ecológica mundial. É preciso um debate mais profundo sobre a sustentabilidade das trajetórias socioeconômicas dos países em desenvolvimento para que tais países não incorram nos mesmos erros (econômicos, ambientais e sociais) do que os países atualmente desenvolvidos.

A primeira década dos anos 2000 foi a que apresentou maior crescimento das economias do ponto de vista material e energético. Quando se olha do ponto de vista do tipo de material consumido, percebe-se que os minerais metálicos e os combustíveis fósseis foram os que apresentaram maior taxa de crescimento. Em termos de composição, houve uma mudança no período analisado: os minerais não metálicos (materiais de construção em geral) substituíram a biomassa como grupo de maior peso relativo no CDM dos BRICS em 2017. A demanda por minerais não metálicos nesses países foi intensificada pela construção da infraestrutura que se iniciou nos anos de 1970, mas que foi ainda mais aprofundada na década de 2000.

De maneira agregada, os dados mostraram que o crescimento do PIB do BRICS foi maior do que o crescimento no CDM no período analisado. Isto significa que, no agregado, houve uma maior eficiência no uso de matéria e energia. Todavia, ao se olhar os resultados individuais, percebeu-se que o Brasil – na contramão do grupo – apresentou uma tendência de intensificação material de sua economia. Este resultado ajuda a desmistificar a ideia – principalmente advinda do fato de que o Brasil possui uma das matrizes elétricas mais renováveis do mundo – de que o país é sustentável. Do ponto de vista do consumo per capita de materiais, houve também um crescimento expressivo neste indicador (quase 400%), sendo a China o país onde a taxa metabólica mais se expandiu.

Não são comuns estudos que utilizam dados/indicadores biofísicos nas ciências sociais – economia em particular. Esta realidade tende a mudar, porém, com o agravamento da crise ecológica. Serão cada vez mais necessárias pesquisas interdisciplinares focadas nas interfaces entre a natureza, a sociedade e a economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. **A new look at the statistical model identification**. IEEE Transactions on Automatic Control., Boston, v.19, n.6, p.716-723, Dec. 1974.

ANDRADE, D.C.; DE MENDONÇA, T.G.; ROMEIRO, A.R. **Tendências do metabolismo da economia brasileira: uma análise preliminar à luz da Economia Ecológica**. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 28, p. 66-86, 2018.

ANDRADE, D.C; VALE, P.M. **“Fronteiras planetárias” e limites ao crescimento: algumas implicações de política econômica**. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 22, p. 69-84, 2014.

ARAÚJO, A.H. dos S.; ANDRADE, D.C.; SOUZA, H. F. **Metabolismo socioeconômico (MSE): construção conceitual e convergência com a economia ecológica**. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 31, p. 127-143, 2019.

DALY, H. E., FARLEY, J. **Ecological economics: Principles and applications**. Washington, DC.: Island Press, 2004.

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

ELLIOT, G., ROTHENBERG e T. J., STOCK, J. H. **Efficient tests for an autoregressive unit root**. Econometrica 64: 813-836, 1996.

ENDERS, W. **Applied Econometric Time Series**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015. 477 p.

EUROSTAT. **Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide**. 2001. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2001. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/3-Economy-wide-material-flow-accounts...-A-methodological-guide-2001-edition.pdf/>. Acesso em: 20/11/2020.

FISCHER-KOWALSKI, M. **Society’s Metabolism**. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860-1970. Journal of Industrial Ecology, v. 2, chapter 4, p. 107–136, 1998.

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H. **Sustainable development**. Long-term changes in socio-economic metabolism and colonization of nature. *International Social Science Journal*, v. 158(4), p. 573-587, 1998.

FISCHER-KOWALSKI, M., HÜTTLER, W., **Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998**. *Journal of Industrial Ecology*, v. 2(4), p. 107-136, 1998.

FOSTER, J. B., 2015. **Marxismo e Ecologia: fontes comuns de uma Grande Transição**. *Lutas Sociais*, v. 19 (35), p. 81-97.

GOLDMAN SACHS. **The BRICs as drivers of global consumption**. Goldman Sachs Global Economics, [S.I.], n. 09/07, abr. 2008.

GOLDMAN SACHS. **Building Better Global Economic BRICs**. Nova Iorque: Gs Global Economics Website, 2001. 16 p.

GÓMEZ, J. M., CHAMON, P. H., TINOCO, C. **Os BRICS e a crise europeia**. Rio de Janeiro: Brics Policy Center, 2012. 22 p.

GREENE, W. H. **Econometrics analysis**, 5. ed., MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2003. 959 p.

HANNAN, E. J.; QUINN, B. G. **The Determination of the Order of an Autoregression**. *Journal Of The Royal Statistical Society*. Sl, p. 190-195. dez. 1979.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy balances of non-OECD countries**. Paris: OECD/IEA, 2013. 554 p.

KRAUSMANN, F., SCHANDL, H., EISENMENGER, N., GILJUM, S. & JACKSON, T.. **Material flow accounting: measuring global material use for sustainable development**. *Annual Review of Environmental Resources*, v. 42, p. 647–675, 2017.

KRAUSMANN, F., GINGRICH, S., EISENMENGER, N., ERB, K-H., HABERL, H. e FISCHER-KOWALSK, M. **Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century**. *Ecological Economics* 68: 2696-2705, 2009.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. **Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root.** Journal Of Econometrics, [s.l.], v. 54, n. 1-3, p.159-178, out. 1992. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-y](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-y).

MALGHAN, D. **On Being The Right Size:** a framework for the analytical study of scale, economy and ecosystem. 2006. 312 f. (PhD Dissertation). Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, 2006.

MUELLER, C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.** UnB/ FINATEC: Brasília, 2007. NFBA – National Footprint and Biocapacity Accounts. Global Footprint Network. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/>. Acesso em Janeiro de 2023.

OREIRO, J.L., FEIJÓ, C.A. **Desindustrialização: conceituação, causas, efeitos e o caso brasileiro.** Revista de Economia Política, v. 30, n. 2 (118), p. 219-232, 2010.

SCHWARZ, G. **Estimating the dimension of a model.** The Annals Of Statistics. SI, p. 461-464. 1978.

THE MATERIAL FLOW ANALYSIS PORTAL. Matflow 2.0.2018. Disponível em: <http://www.materialflows.net/>. Acesso em: 05 fevereiro 2023.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Towards a green economy pathways to sustainable development and poverty eradication.** 2011. Disponível em: https://www.cbd.int/financal/doc/green_economyreport2011.pdf. Acesso em: 02 março 2023.

WEISZ, H. et al. **Economy-wide material flow accounting.** A compilation guide. Eurostat and the European Commission, 2007.

WORLD DEVELOPMENT INDICATORS (WDI). Indicators. 2018. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/>. Acesso em: 25 fev. 2023