

Intensidade Energética e Poluidora da Indústria Brasileira de 1970 A 2016

LUIZ GUSTAVO FERNANDES SERENO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DANIEL CAIXETA ANDRADE

INTENSIDADE ENERGÉTICA E POLUIDORA DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE 1970 A 2016

1. INTRODUÇÃO

A eficiência da alocação de recursos na produção permeia os estudos econômicos desde a revolução marginalista. A literatura econômica preconiza que a tendência do desenvolvimento industrial é de melhor aproveitamento de recursos como a energia, dado o progresso técnico. De similar modo, a visão preponderante da Economia Ambiental Neoclássica enuncia a redução relativa do impacto ambiental da produção com o decorrer do crescimento econômico. Considerando os efeitos adversos da utilização de combustíveis fósseis e de outras fontes não renováveis de energia para o Meio Ambiente, faz-se necessário investigar se os comportamentos da eficiência energética seguem a propensão poupadora de recursos indicada pelo saber econômico dominante, tendo em vista que avaliações empíricas sobre o tema não são convergentes (CEPAL, 2015; FOCACCI, 2005; MACIEL e KHAN, 2017; MIKETA, 2001).

Dadas as metas estabelecidas pelo Brasil no Acordo de Paris (BRASIL, 2015), é preciso, ainda, averiguar a tendência das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) da indústria brasileira. Dessa forma, este trabalho se presta a investigar o comportamento da intensidade energética da indústria no Brasil e seus desdobramentos relativos às emissões de GEE na geração e consumo de energia industrial entre os anos de 1970 e 2016. Para tanto, propõe um exame da demanda energética e das emissões de GEE industriais e calcula os Índices de Intensidade Energética (IIE) e Intensidade Poluidora (IIP) para a indústria brasileira e seus subsetores.

O trabalho é estruturado em quatro seções além desta introdução. Na segunda seção são apresentados, de forma resumida, os pressupostos teóricos a respeito da Eficiência Energética e a relação entre Indústria e Meio Ambiente. O histórico de demanda energética e emissão de GEE no Brasil é apresentado na terceira seção e, na quarta, são apresentados e discutidos os resultados dos índices de intensidade da indústria brasileira. Por fim, na última seção, são apresentadas as considerações finais.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Emissões de GEE e Crescimento Econômico

A considerável difusão da problemática ambiental – sobretudo a partir da publicação de *Limits to Growth* (MEADOWS *et al.*, 1972) – trouxe novos desafios para a ciência econômica no que diz respeito à compreensão do sistema econômico. Georgescu-Roegen (1971) é notadamente um dos primeiros autores a revisar os pressupostos econômicos vigentes, análogos ao princípio da conservação de energia da física (CECHIN e VEIGA, 2010). O autor argumenta, em suma, que não se pode considerar o sistema econômico de forma isolado do planeta dado que o sistema está constantemente interagindo com o meio ambiente ao absorver recursos e expelir resíduos (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

A partir dos anos 1990 a sustentabilidade ambiental passa a ser incorporada como variável de interesse nos modelos econômicos. Destaca-se nesse bojo a adaptação do modelo de Kuznets (1955), cuja versão ambiental (Curva de Kuznets Ambiental –CKA) aborda a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental. O trabalho original (KUZNETS, 1955) trouxe evidências empíricas de que aumentos da renda *per capita* em um país em desenvolvimento tendem, inicialmente, a aumentar a concentração de renda. Contudo, com o decorrer do progresso econômico a desigualdade de renda encontraria um ponto de inflexão, a partir do qual o próprio crescimento propiciaria condições para uma maior parcela da sociedade se apropriar da elevação da renda gerada. Dessa forma, a relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda seria dada por uma curva em formato de “U” invertido.

De forma análoga, Grossman e Krueger, (1991, 1995) encontraram indícios de uma relação entre crescimento econômico e degradação ambiental também representada por uma curva em forma de “U” invertido. É possível relacionar, de acordo com Mueller (2004) , três fatores que explicam a trajetória da CKA. Na fase ascendente, as nações são pouco desenvolvidas e com elevada dependência do setor primário, portanto, os esforços da nação são centrados na industrialização. Ao aumentar a escala de produção, uma maior quantidade de materiais e energia são utilizados nos processos e, conseqüentemente, também é maior a emissão de resíduos. Neste primeiro estágio, portanto, destaca-se o Fator Escala.

Os outros dois fatores apresentados por Mueller (2004) dizem respeito ao ponto de inflexão e a fase decendente da CKA, ou seja, a diminuição relativa da degradação ambiental. O fator Composição se relaciona com a tendência de aumento da participação do setor de serviços no PIB de uma economia industrializada. Como o terceiro setor é, em geral, menos degradante, uma maior parcela da renda gerada estaria relacionada a um menor impacto ambiental. Por fim, o fator de Mudança Tecnológica corresponde ao surgimento de novas tecnologias mais limpas a substituir as tecnologias obsoletas e mais intensivas em energia e matéria. Em tese, este progresso tecnológico estaria associado à maior disponibilidade de recursos com o avançar do desenvolvimento (MUELLER, 2004).

No âmbito da CKA, o estado implementa políticas em favor do crescimento que geram aumento da depleção ambiental na fase ascendente da curva. Contudo, ao chegar a um estado de maior desenvolvimento, o empenho governamental se dá no sentido de melhorar a qualidade do meio ambiente e proteger os recursos naturais. Nesta perspectiva, portanto, a “solução” para a crescente degradação do meio ambiente seria o próprio desenvolvimento econômico e conseqüente enriquecimento da população. Dessa forma, de acordo com a corrente majoritária da Economia Ambiental, considera-se que a sustentabilidade ambiental é inerente ao próprio sistema capitalista, fruto do livre funcionamento das forças de mercado, hierarquização de preferências, e demanda mercadológica e política por bens e serviços mais “limpos” (MUELLER, 2004)..

Não obstante, há que se considerar as críticas que a literatura da Economia Ecológica registra acerca da hipótese do “U” invertido, sobretudo considerando que “há sérias razões, entretanto, para não aceitar essa visão otimista” (MUELLER, 2004, p. 25). O primeiro ponto apresentado por Mueller (2004) é que a hipótese se aplica normalmente apenas a alguns poluentes que em geral são de curto prazo e de impacto geograficamente reduzido. Tendo em vista que a redução de um poluente específico em determinada região não significa, necessariamente, redução do seu impacto global. É possível supor, ainda, que essa redução pode estar relacionada ao crescimento da emissão em outra região.

Ademais, de acordo com Mueller, “os estudos empíricos da curva do U invertido geralmente consideram poluentes altamente visíveis e que tendem a provocar crescentes reações de desagrado e protesto nas populações atingidas” (MUELLER, 2004, p. 25). Por fim, o autor ressalta que – em dimensões globais e considerando o histórico de emissões antrópicas – os efeitos dos gases acumulados na atmosfera superam em muito os efeitos locais.

Sun (2003) acrescenta que o modelo de desenvolvimento sustentável deve ser “forçado” e incluir necessariamente um aumento na eficiência energética associado a menores níveis de emissão de CO₂ (enquanto GEE). Além disso, tratando-se de países em desenvolvimento, o autor ressalta que existem maiores possibilidades de substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia. Dessa forma, acredita-se que não seja viável aguardar a atuação das forças de mercado em prol do meio ambiente dado que os limites ecológicos não podem ser definidos na determinação do equilíbrio de mercado.

2.2 Índice de Intensidade Energética (IIE)

O Índice de Intensidade Energética (IIE) busca medir a eficiência na utilização do recurso energia na produção e geração de renda (MOTTA e ARAUJO, 1989). Para tanto, o índice relaciona a demanda energética em relação ao Produto Interno Bruto (PIB).

$$IIE = \frac{\text{Consumo total de Energia}}{\text{Produto Interno Bruto}}$$

Motta e Araujo (1989) descrevem três determinantes para a intensidade energética total de uma economia, quais sejam: mudanças na composição do produto, mudanças no conteúdo energético e mudanças no nível de atividade econômica. A explicação dada pelos autores se concentra na dimensão econômica que tem por base o pressuposto teórico do ótimo de *Pareto*.

O determinante de mudanças na composição do Produto se relaciona com o efeito composição da CKA. De acordo com os autores, alterações na estrutura do PIB podem levar a setores menos intensivos em energia a uma maior participação no PIB. Dessa forma, o índice energético total tende a se reduzir. Assim sendo, o aumento na eficiência energética nacional não estaria atrelado diretamente a um aumento de eficiência produtiva nos setores existentes, mas sim ao crescimento de setores mais eficientes, como o setor de serviços. Portanto, os autores denominam o determinante de efeito estrutural, considerando que o fator está vinculado a “tendências de consumo, a programas governamentais, a padrões do comércio exterior, ou mesmo resultantes de perdas ou ganhos de mercado devido aos impactos dos custos elevados de certos insumos repassados aos preços do produto” (MOTTA e ARAUJO, 1989, p. 8).

O segundo determinante, mudanças no conteúdo energético, baseia-se na premissa de que “capital, trabalho, e energia podem ser combinados em diferentes proporções, seja por decorrência de alterações nos seus preços relativos, de melhorias técnicas ou do progresso tecnológico” (MOTTA e ARAUJO, 1989, p. 9). À vista disso, supõe-se que é possível existirem diminuições na intensidade energética resultantes de uma melhoria técnica associada a uma ampliação de plantas, o que estaria relacionado ao avanço da escala de produção. Além disso, avanços técnicos que propiciassem alterações nas combinações dos fatores produtivos poderiam aumentar a eficiência da produção e reduzir a intensidade energética. Ressaltam ainda que aumentos na intensidade podem estar relacionados a variações nos preços relativos das fontes de energia que poderiam causar o emprego de combustíveis menos eficientes, embora isso possa ser só no curto prazo.

Por fim, o determinante de mudanças no nível de atividade econômica visa explicar as mudanças na intensidade pontuais que não necessariamente indiquem tendências de longo prazo. O argumento apresentado pelos autores é que “plantas menos eficientes podem entrar em operação em consequência de uma inesperada elevação do nível de atividade [ou então considerando que] certos usos de energia não podem ser reduzidos de imediato quando a capacidade ociosa aumenta” (MOTTA e ARAUJO, 1989, p. 9). Assim sendo, defendem que a defasagem entre o investimento produtivo e choques de demanda constituiria um período no qual a intensidade energética aumentaria temporariamente. Contudo, verificando-se uma mudança real por parte da demanda, o processo produtivo se adaptaria à nova condição de mercado retornando ao nível de intensidade anterior.

Dentre os estudos que dirigiram esforços ao tema se destacam os trabalhos de Cepal (2015); Focacci (2005); Maciel e Khan (2017) e Miketa (2001). Focacci (2005) encontrou evidências de que maiores taxas de crescimento no produto estão relacionadas à menor intensidade energética e redução nas emissões de GEE para o Brasil, China e Índia. Miketa (2001), por sua vez, demonstrou que existe uma relação positiva entre o tamanho da indústria e a intensidade energética, contrariando concepções teóricas que indicam que o desenvolvimento industrial se encarrega de forçar aumentos na eficiência energética da indústria.

Maciel e Khan (2017) corroboram os resultados de Focacci (2005), apontando que Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS) diminuíram seus índices de intensidade energética entre os anos de 2004 e 2014. Contudo, o Relatório Nacional de Monitorização da Eficiência Energética do Brasil (CEPAL, 2015), concluiu-se que “a intensidade energética [no Brasil] nas últimas décadas cresceu e que o consumo de energia vem crescendo de maneira significativa nesse período” (*op. cit.*, p. 89) embora ressalte que “isto veio seguido de importante crescimento econômico e de bem-estar das famílias” (*idem, ibidem*).

3. INDÚSTRIA, DEMANDA ENERGÉTICA E GEE NO BRASIL: 1970-2016

O Brasil tem se comprometido – em sintonia com o cenário global – a reduzir suas emissões de GEE. Como signatário do Acordo de Paris (2015), o país estabeleceu metas e meios para o cumprimento do acordo em sua Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC)(BRASIL, 2015). No documento, o país afirma que

“Todas as políticas, medidas e ações para implementar a iNDC do Brasil são conduzidas no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009), da Lei de Proteção das Florestas Nativas (Lei 12.651/2012, o chamado Código Florestal), da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000) e da legislação, instrumentos e processos de planejamento a elas relacionados” (BRASIL, 2015, p. 1)

As metas expressas na iNDC estão inseridas no compromisso firmado pelo Brasil de “reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025” (BRASIL, 2015), abrangendo todo o território nacional e incluindo os gases CO₂, CH₄, N₂O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF₆. O documento cita ainda o compromisso de instigar esforços para uma transição para sistemas de energia baseados em fontes renováveis e a descarbonização da economia mundial.

Euler (2016) destaca que, apesar dos avanços que o Brasil obteve na primeira década do século XXI, não existe ainda um consenso interno sobre as ferramentas de redução das emissões bem como falta interação com outros instrumentos e incentivos macroeconômicos. Monzoni (2016) ressalta ainda que o crescimento das emissões totais entre os anos de 2014 e 2016 acende o alerta para dificuldades em se cumprir a meta brasileira do Acordo de Paris.

Tendo em vista a intensidade de uso de combustíveis de origem fóssil para as emissões de GEE, é importante inquirir sobre o comportamento da eficiência energética e poluidora da indústria brasileira. Para tanto, é necessário um balanço prévio a respeito da demanda energética e das emissões de GEE da indústria. Os dados de demanda energética foram do Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2017) e são apresentados em toneladas equivalentes em petróleo (tep) para fins de comparação entre diferentes fontes energéticas. Os dados das atividades relacionadas à geração de energia foram agregados no Setor Energético, de acordo com classificação do BEN (2017). Os dados referentes à emissão de GEE foram obtidos junto ao Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), do Observatório do Clima (OC, 2017). Foram considerados os dados de emissão de GEE relativos à atividade industrial dos setores de Energia, Processos Industriais e Resíduos (**anexo 1**), cuja unidade de medida considerada é a tonelada métrica de carbono equivalente (CO₂e GTP) como recomendado pelo *European Fluorocarbons Technical Committee* (EFCTC, 2014). Os dados de Produto Interno Bruto dado por paridade do poder de compra (PIB ppc) da Indústria foram extraídos do BEN (EPE, 2017).

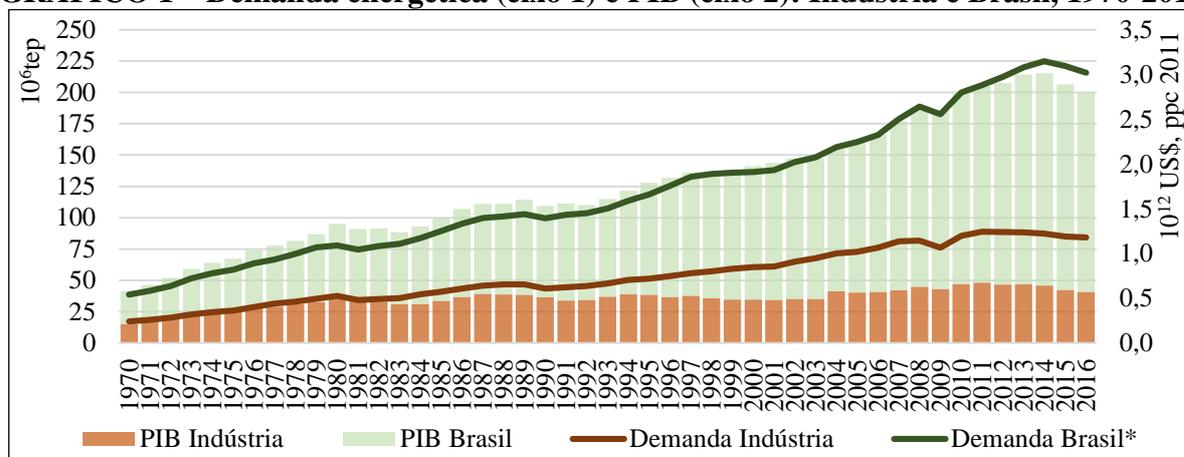
3.1 Demanda Energética Industrial

Em um primeiro momento, faz-se necessário compreender o comportamento da demanda energética da indústria brasileira, assim como a evolução do consumo de energia de fontes renováveis e não renováveis. A demanda industrial por energia, assim como a demanda total, guarda certa relação com o comportamento do PIB (GRÁFICO 1). Nota-se, contudo, que

o crescimento do consumo de energia industrial foi nitidamente superior ao crescimento do produto da indústria a partir do início da década de 1980. Embora o PIB industrial tenha mais que dobrado, o consumo de energia industrial foi, em 2016, quase cinco vezes superior ao de 1970. Tal constatação, por si só, fornece indícios de que a indústria brasileira aumentou sua intensidade energética.

Em relação à demanda nacional por energia (excluindo-se a residencial), nota-se no GRÁFICO 1 um comportamento mais próximo ao PIB nacional. Em que pese o fato de que as emissões nacionais tenham crescido a taxas superiores que o PIB total, os índices foram bem mais próximos que os da indústria. O consumo industrial de energia em 2016 representava uma menor parcela do consumo nacional (39,00%) do que em 1970 (44,60%), ainda assim, o setor permanece como o principal consumidor de energia do país (CEPAL, 2015).

GRÁFICO 1 – Demanda energética (eixo 1) e PIB (eixo 2): Indústria e Brasil, 1970-2016

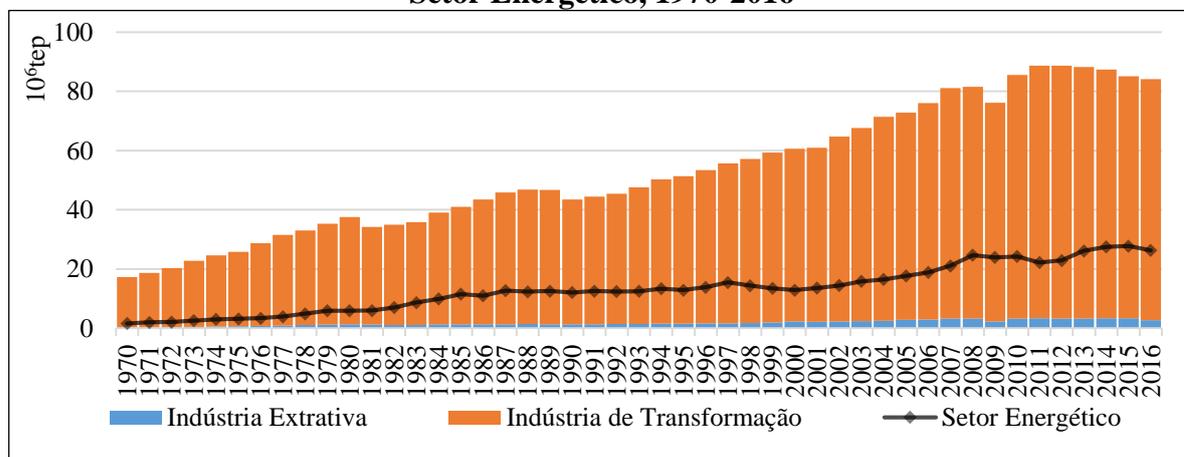


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

* Exclui demanda energética residencial

No GRÁFICO 2, é possível identificar que o crescimento da demanda industrial se dá, majoritariamente, em razão da expansão energética da indústria de transformação, restando uma ínfima parte ligada à indústria extrativa. Entretanto, como os dados relativos à exploração, produção e refino de combustíveis fósseis (**ver anexo 2**) são apresentados no BEN (EPE, 2017) como Setor Energético, convém analisar também a demanda por energia do Setor Energético.

GRÁFICO 2 – Demanda energética: Indústria Extrativa, Indústria de Transformação e Setor Energético, 1970-2016

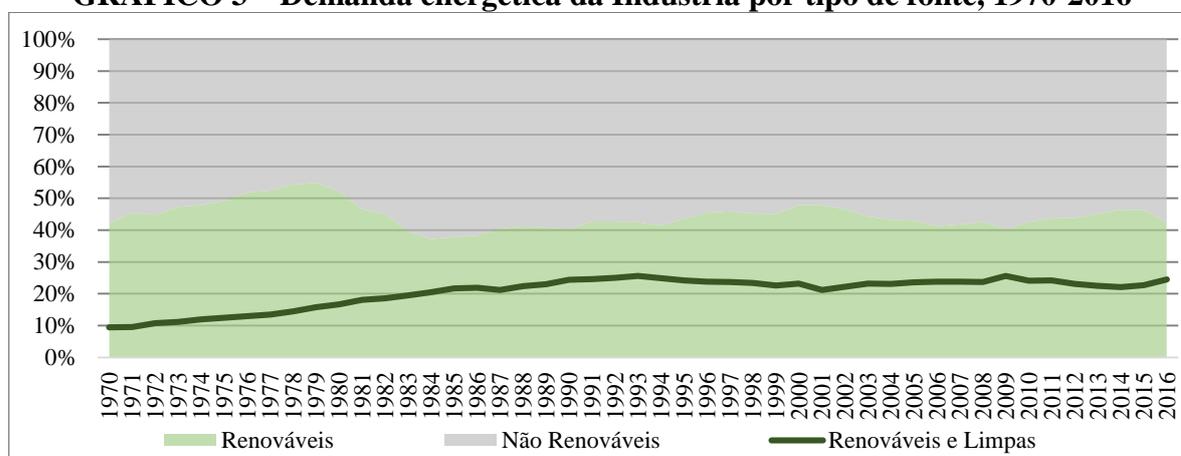


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

Em contraposição à demanda por energia industrial, a demanda energética relacionada ao setor energético aumentou sua participação no total em 2016 (12,18%) em relação a 1970 (4,02%). O resultado se deve, sobretudo, ao fato de que em 2016 a demanda do setor energético foi quase dezessete vezes superior à registrada em 1970. Dessa forma, as demandas industriais e do setor energético somadas representaram mais da metade da demanda energética nacional em 2016. Como o PIB industrial e do setor energético corresponderam a 23,71% do PIB nacional em 2016, torna-se evidente que se tratam setores mais intensivos do que os demais.

No que diz respeito às fontes de energia, a indústria brasileira segue próxima ao desempenho nacional de, na última década, ter cerca de 40% de fontes renováveis em sua matriz energética (CEPAL, 2015). Embora ao final da década de 1970 a energia de origem renovável representasse mais de 50% da energia industrial, desde a década de 1990 a participação oscila entre 35% e 45%, não apresentando mudanças significativas na última década.

GRÁFICO 3 – Demanda energética da Indústria por tipo de fonte, 1970-2016



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

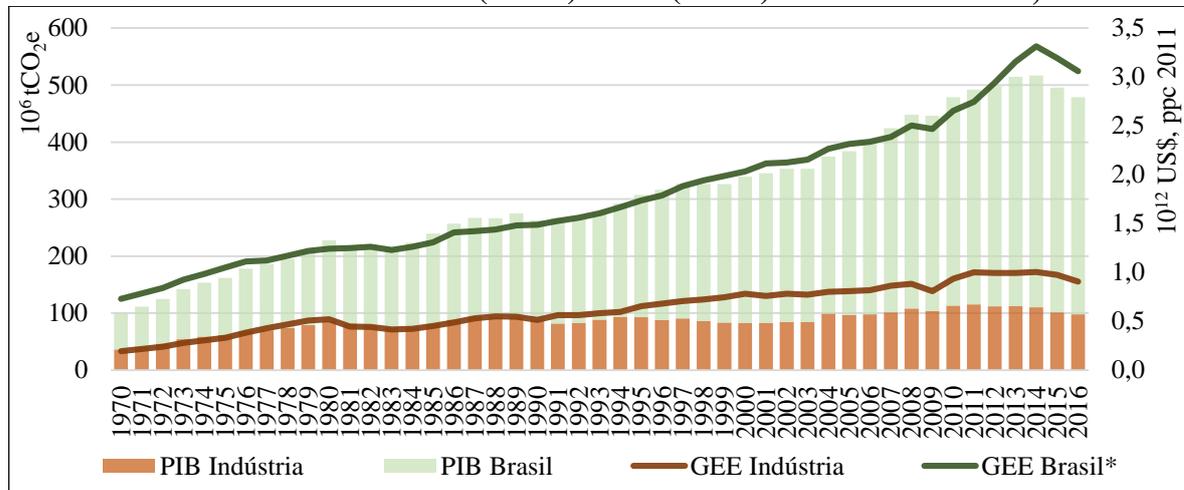
É preciso ressaltar, entretanto, que fontes renováveis como Lenha, Biomassa (Bagaço de Cana) e Carvão Vegetal conquanto mais limpas que as de origem fóssil (GOLDEMBERG e LUCON, 2007) ainda são emissoras de GEE. À vista disso, a participação das fontes renováveis e limpas (não intensivas em emissão de GEE, tais como eletricidade de origem hídrica, eólica e solar e outras do BEN (EPE, 2017)) se manteve razoavelmente imobilizada em torno dos 23,00% nos últimos quinze anos (GRÁFICO 3), não apresentando sinais de evolução desde o início da década de 1990. Como resultado, entre fontes não renováveis e fontes renováveis não limpas, cerca de três quartos da energia industrial brasileira nos últimos anos são de origens emissoras de GEE.

3.2 Emissão de GEE relacionada à indústria no Brasil

Considerando tal proporção de fontes emissoras de GEE para a indústria nacional, torna-se evidente a relação entre a geração e consumo de energia industrial com as emissões brasileiras de GEE. Constata-se no GRÁFICO 4 que as emissões de GEE da indústria conservaram certa relação com as oscilações do PIB industrial durante as décadas de 1970 e 1980. Contudo, o crescimento das emissões foi notadamente superior à variação total do PIB a partir de meados de 1990. Distingue-se um descolamento entre as séries na segunda metade da década, explicado pela contração da atividade industrial associado ao crescimento das emissões. Ainda que na década de 2000 o avanço do produto industrial tenha superado o crescimento das emissões, a contração do PIB da indústria a partir de 2011 foi de maior grau que a redução das

emissões. De forma que, de modo similar à demanda energética, observa-se um aumento mais que proporcional das emissões industriais do que do produto industrial.

GRÁFICO 4 - Emissões de GEE (eixo 1) e PIB (eixo 2): Indústria e Brasil, 1970-2016

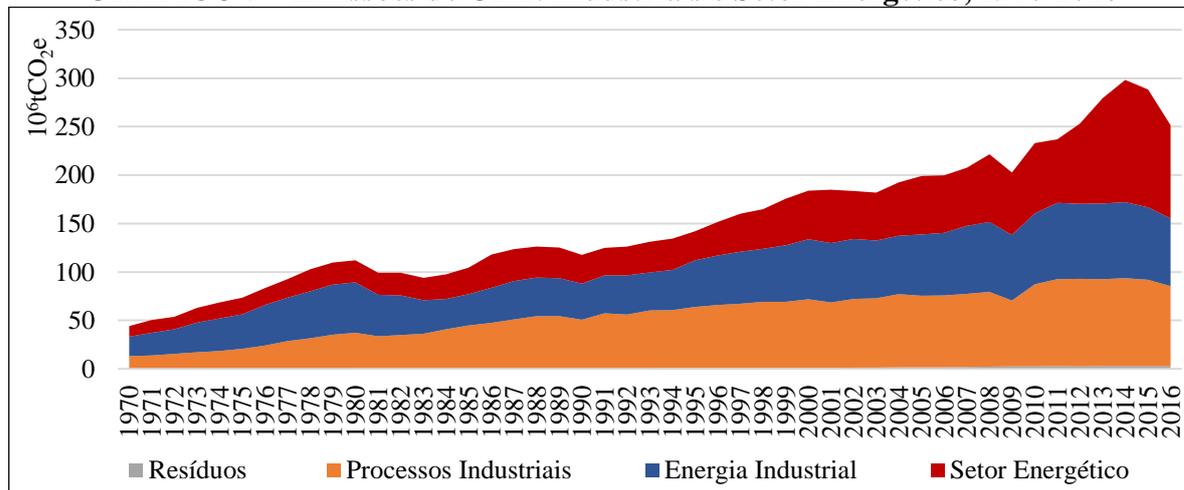


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017).

*Exclusive Setor de Mudanças no uso da terra

Ao analisar a composição das emissões industriais de GEE (GRÁFICO 5), evidencia-se a importância do setor de Energia Industrial. Tal setor compreende as emissões relativas aos processos energéticos industriais. As emissões provenientes de processos não energéticos estão agregadas no setor de Processos Industriais. Por fim, o setor energético abrange tanto a geração de eletricidade para uso industrial como os processos de exploração, produção e refino de combustíveis (anexo 2).

GRÁFICO 5 – Emissões de GEE: Industriais e Setor Energético, 1970-2016



Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

Ainda no GRÁFICO 5, nota-se que as emissões relativas aos processos industriais se tornaram mais preponderantes no período em comparação com as emissões de energia industrial: em 2016 representavam 53,08% das emissões industriais contra 39,06% em 1970. Apesar disso, as emissões relativas à energia industrial e do setor energético somadas representaram, em 2016, 24,43% das emissões totais brasileiras, valor acima dos 19,48% de 1970.

TABELA 1 – Emissões de GEE

Setor	Emissões totais (milhões tCO ₂ e)	Variação (%)	Variação média (milhões tCO ₂ e)	Variação média (%)
Energia ¹	6.629,42	364,92	4,02	3,32
Energia Industrial	2.379,33	248,67	1,06	3,65
Setor Energético	2.034,03	787,34	1,82	4,75
Energia Total	11.042,79	392,32	6,90	3,45
Processos Industriais	2.606,33	526,46	1,47	3,98
Resíduos ²	308,49	427,38	0,20	3,60
Resíduos Industriais	48,26	3710,26	0,07	8,05
Resíduos Total	356,91	545,00	0,27	4,05
Agropecuária	5.458,50	191,27	2,45	2,30
Brasil ¹	12.396,41	274,63	6,67	2,85
Brasil Indústria	7.068,12	470,80	4,41	3,78
Brasil Total	19.464,52	329,24	11,09	3,15

Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

¹Exclusive Indústria e Setor Energético

² Exclusive Indústria

Além da análise da evolução, é preciso investigar também a composição das emissões totais de GEE no período. Considerando as emissões totais acumuladas, o setor industrial somou 5,03 bilhões de tCO₂e, o que representa 26,85% das emissões totais brasileiras (19,46 bilhões) (TABELA 1). Ainda do total, 2,38 bilhões de tCO₂e (12,22%) estão relacionadas ao consumo de energia industrial e 2,03 bilhões (10,45%) à geração de energia total. Dessa forma, excluindo-se as emissões relativas ao setor de mudanças no uso da terra, a geração de energia e a utilização de energia industrial somadas só não foram mais poluentes que a Agropecuária e a geração de energia para o restante da economia.

4. INTENSIDADE ENERGÉTICA E POLUIDORA DA INDÚSTRIA NO BRASIL

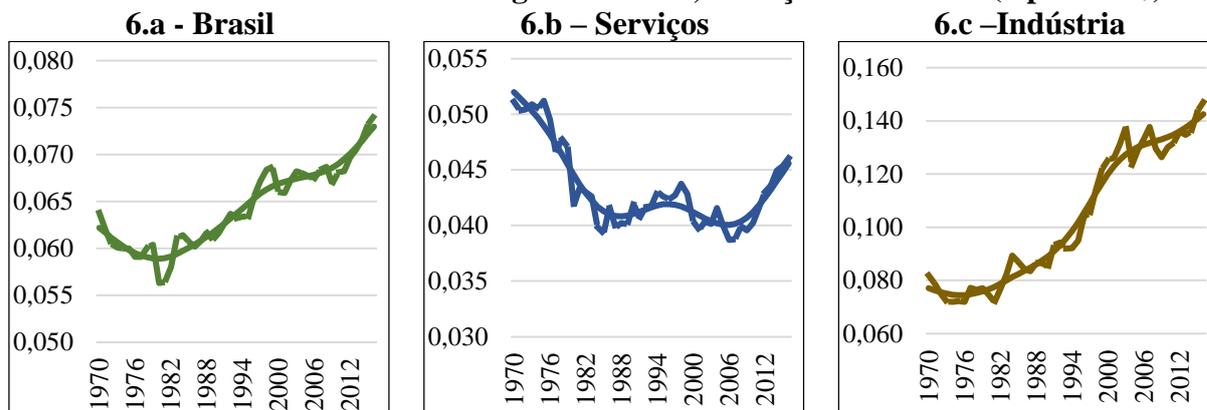
4.1 Índice de Intensidade Energética (IIE)

Com o propósito de averiguar o comportamento da eficiência energética da indústria em termos de renda gerada foram calculados os Índices de Intensidade Energética (IIE) para a indústria nacional, assim como para o setor de Serviços e o Brasil (excluindo-se o consumo de energia residencial). Os índices calculados foram filtrados pela metodologia de Hodrick-Prescott (filtro HP). Em suma, o processo tem como finalidade decompor uma série temporal em dois elementos: 1. Tendência da trajetória e 2. Variações cíclicas (ANGELIS, 2004). Dessa forma, é possível obter a tendência de longo prazo eliminando as variações relacionadas a fatores cíclicos.

No processo são eliminadas as transformações temporárias equivalentes ao determinante de mudanças no nível de atividade econômica, ou seja, oscilações repentinas de demanda. De igual modo, as alterações momentâneas nos preços relativos também são suavizadas. Na tendência de longo prazo permanecem, portanto, os determinantes de mudanças na composição do produto – estruturais - e de mudanças no conteúdo energético - relativas ao progresso técnico.

Considerando a tendência do IIE para o Brasil (GRÁFICO 6.a), evidencia-se a importância do nível de atividade econômica para a determinação do índice. O período com maior taxa de crescimento do PIB - década de 1970 - foi o único no qual a intensidade energética do país diminuiu. Do mesmo modo, o segundo período de mais crescimento - anos 2000 - é também o de intensificação mais branda. Já as décadas de menor crescimento econômico - 1990 e 1980 - apresentaram taxas de intenso crescimento no IIE. O período mais recente - 2011 a 2016 - traz conclusões mais alarmantes: o PIB brasileiro apresentou forte retração e o IIE nacional apresentou o maior coeficiente de aumento em toda a série.

GRÁFICO 6 – Intensidade Energética: Brasil, Serviços e Indústria (tep/10³US\$)

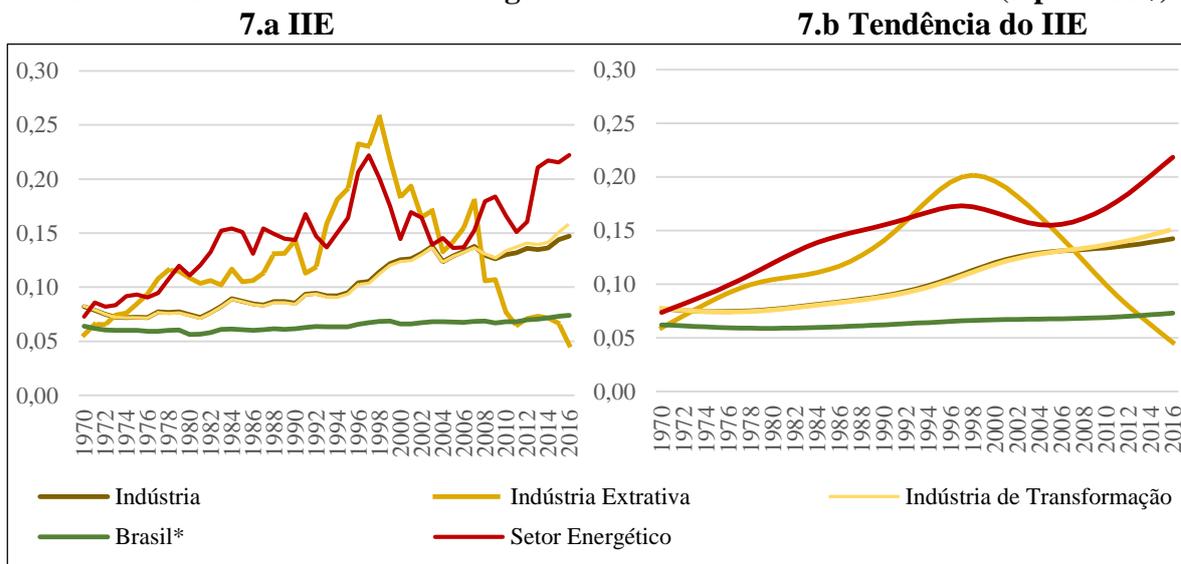


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

Ao analisar os índices para o setor de serviços (GRÁFICO 6.b) e para a indústria (GRÁFICO 6.c), corrobora-se a suposição do efeito composição para a determinação do IIE. No único período de redução do índice nacional tanto o setor de serviços quanto a indústria apresentaram queda em seus respectivos IIE. Os sucessivos acréscimos do índice industrial a partir de 1980 foram atenuados pela queda no IIE de serviços durante os anos 2000, o que resultou no crescimento mais brando do índice nacional neste interim. No período mais recente, contudo, tanto a indústria quanto o setor de serviços apresentaram intensificação energética.

O peso da indústria – que tem a maior participação da demanda energética nacional – é, todavia, distintamente elevado em relação ao setor de serviços. O IIE médio da indústria (0,1029) é mais de duas vezes maior que o de serviços (0,0433) e, no último ano da série, o índice industrial (0,1425) é cerca de três vezes superior ao do terceiro setor (0,0456).

GRÁFICO 7 – Intensidade Energética: Brasil e setores da Indústria (tep/10³US\$)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017)

*Exclusive consumo energético residencial

No que tange à intensidade energética dos setores da indústria (GRÁFICO 7), a Indústria de Transformação se revela como o principal componente do IIE industrial, exibindo tendência de intensificação energética em quase todo o período. A taxa média anual de intensificação no

IIE industrial foi de 1,32% contra aumento de 1,44% no índice da Indústria de Transformação e queda média de 0,55% da Indústria Extrativa. Ressalta-se que a queda do IIE da indústria extrativa, no entanto, diz respeito apenas às atividades de mineração e pelletização. Assim, os efeitos da expansão da atividade petrolífera a partir de meados de 2000 são incorporados no setor energético.

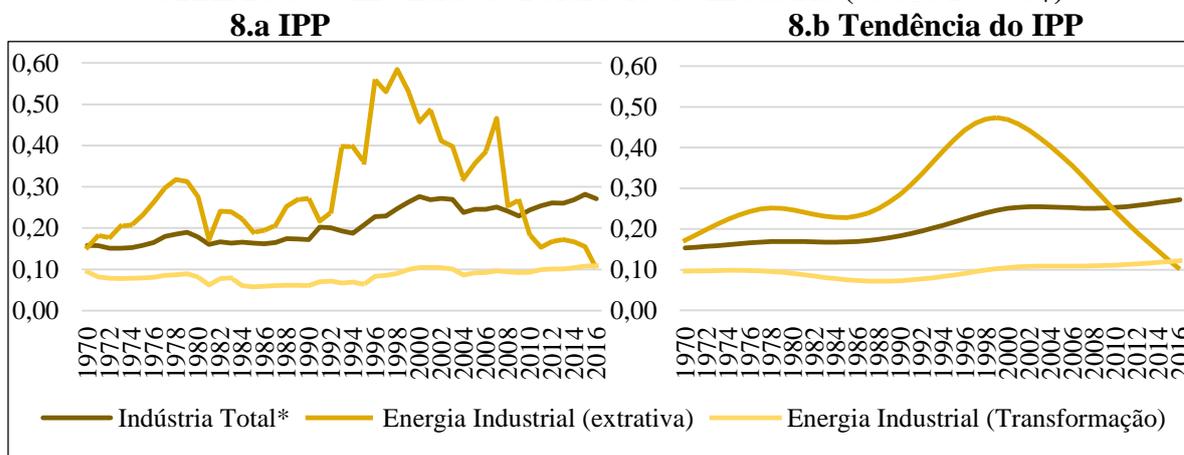
No período pós 2008, em contraposição à queda do índice da indústria extrativista se verifica uma tendência de intensificação do setor energético. Tal comportamento implica em uma menor eficiência energética na geração de energia industrial nos últimos anos. Além disso, o IIE do setor energético em 2016 (0,2183) foi o maior de todos os setores. Ressalta-se ainda que a crise de geração de eletricidade no início do século XXI foi precedida de três décadas de queda na eficiência energética do setor. Apesar de um período de leve melhora na eficiência, o setor voltou a apresentar tendência de queda na eficiência a partir de.

Em suma, com exceção da indústria extrativista – cuja participação na demanda energética nacional jamais superou os 2%, todos os setores relacionados a indústria apresentaram queda na eficiência energética em termos de utilização de energia por renda gerada. Destaca-se o período mais recente – 2011 a 2016 – no qual a queda na eficiência se intensificou.

4.2 Índice de Intensidade Poluidora (IIP)

De modo análogo ao IIE foi calculado o Índice de Intensidade Poluidora da Indústria (IIP). Assim, é possível verificar a relação da eficiência energética com as emissões de GEE da produção e consumo industrial de energia, além das emissões relacionadas aos processos industriais não energéticos. Os índices calculados também foram filtrados pelo filtro HP a fim de remover as variações cíclicas.

GRÁFICO 8 –Intensidade Poluidora da Indústria (tCO₂e/10³ US\$)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

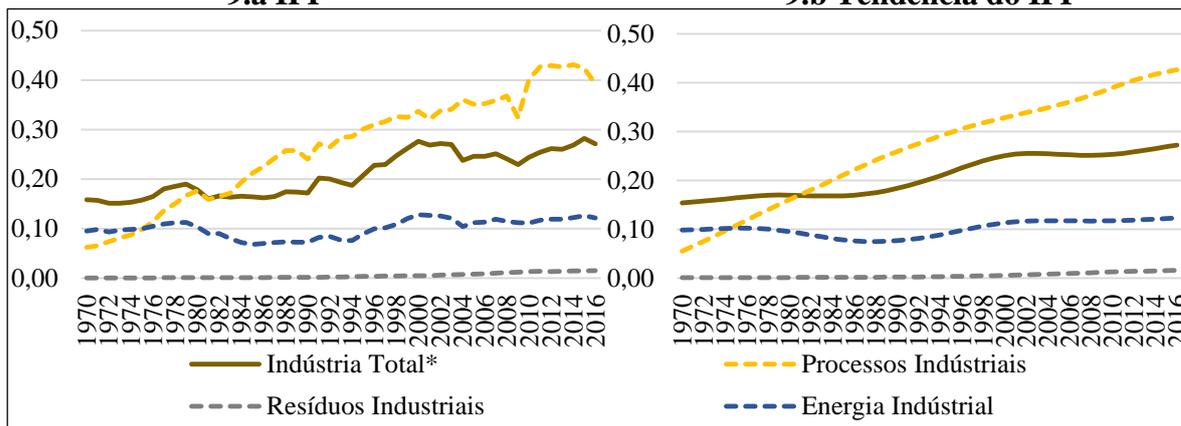
*Exclusive Setor Energético

No GRÁFICO 8 se destaca a deterioração da eficiência energética do setor de modo geral: o índice industrial que era de 0,1534 CO₂e/10³US\$ em 1970 salta para 0,2721 no ano de 2016. Nota-se, contudo, acréscimos mais acentuados no IIP na década de 1990 relacionados, sobretudo, à contração do PIB industrial concomitante ao crescimento das emissões de GEE. Tal como na análise da intensidade energética, são preocupantes os resultados da tendência do IIP (GRÁFICO 8.b) a partir de 2011, sobretudo no que diz respeito às perspectivas para o cumprimento do Acordo de Paris. Destaca-se que o PIB do setor se retraiu mais que proporcionalmente à redução nas emissões ocorrida nos anos de 2015 e 2016.

O IIP relativo aos processos energéticos da indústria extrativa (GRÁFICO 8.b) apresenta comportamento muito similar ao do IIE, com forte trajetória de queda a partir do início dos anos 2000. Em contrapartida, a intensidade das emissões da indústria de transformação exibe tendência de módico crescimento no mesmo período.

No GRÁFICO 9 nota-se, contudo, que a forte intensificação das emissões relativas a processos industriais não energéticos se torna fator preponderante para o aumento do índice do setor e, conseqüentemente, queda na eficiência poluidora.

GRÁFICO 9 –Intensidade Poluidora da Indústria (tCO₂e/10³ US\$ de PIB ppc)
9.a IPP **9.b Tendência do IPP**

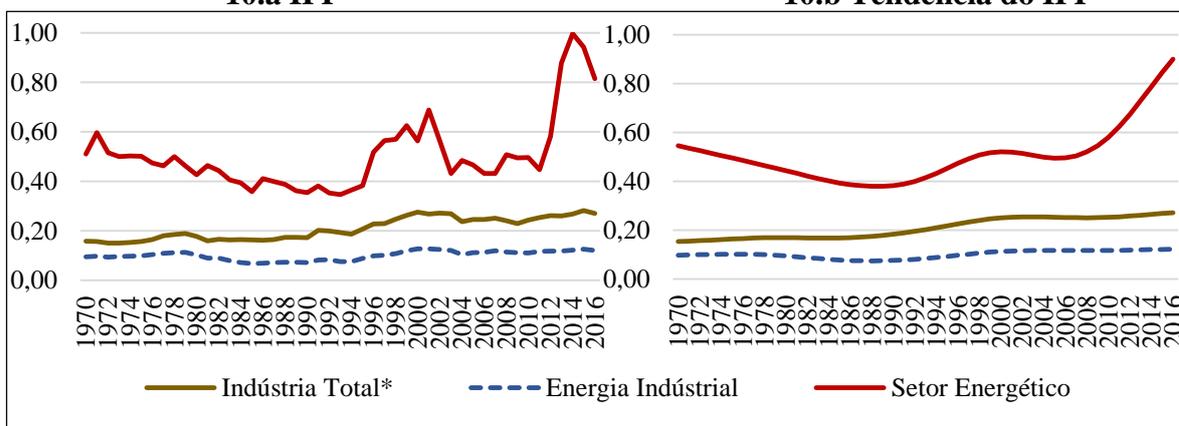


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

*Exclusive Setor Energético

Ressalta-se que o comportamento quase estável do IIP dos processos energéticos industriais é correlato com a invariabilidade das fontes de energia renováveis limpas reportada anteriormente. O mesmo não ocorre com o setor energético que, sobretudo após 2006, apresenta exorbitante tendência de intensificação poluidora (GRÁFICO 10.b). Em termos gerais, o IIP do setor energético assume o valor de 0,9007 tCO₂e/10³ US\$ em 2016, muito superior aos 0,5456 registrados em 2009.

GRÁFICO 10 –Intensidade Poluidora da Indústria (tCO₂e/10³ US\$ de PIB ppc)
10.a IPP **10.b Tendência do IPP**



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN (EPE, 2017) e SEEG (OC, 2017)

*Exclusive Setor Energético

Dessa forma, ainda que o consumo energético industrial não manifeste agravamento na eficiência poluidora, a geração de energia para consumo industrial – bem como processos relativos ao setor de extração, produção e refino de combustíveis fósseis – demonstra

perspectivas desafiadoras para a redução nas emissões de GEE no Brasil. Em linhas gerais, no período mais recente de análise se observa um agravamento da eficiência poluidora em termos de renda gerada. O que se deve, sobretudo, a retração do produto industrial brasileiro além da não evolução na utilização de energias renováveis e limpas. Assim, não se encontram indícios para expectativas positivas no tocante à redução das emissões de GEE relacionadas às atividades industriais brasileiras.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo acerca da eficiência energética da indústria brasileira verificou que, em geral, a quantidade necessária de energia para a produção aumentou entre os anos de 1970 e 2016, assim como o volume de emissões industriais de GEE. Não obstante os resultados positivos para a indústria extrativa a partir do final dos anos 1990, sua reduzida participação nos números da indústria total acarreta em resultados negativos gerais norteados pela queda de desempenho da indústria de transformação. Além disso, destaca-se o preocupante desempenho negativo do setor energético nas duas análises, o que traz sérias complicações para o horizonte temporal da matriz energética nacional.

Não foi possível verificar, portanto, aumentos em termos de eficiência no consumo e geração de energia industrial previstos pela literatura. Igualmente, através dessa análise não é viável admitir a suposição da diminuição relativa do impacto ambiental das atividades produtivas com o simples decorrer do progresso econômico. As eventuais reduções – tanto na demanda energética quanto nas emissões de GEE – se mostraram predominantemente relacionadas a contrações no produto ante melhorias técnicas que propiciassem tendência de incremento na eficiência. Assim como não se verificou evolução na utilização de energia de fontes renováveis e limpas no período recente. Dessa forma, os indícios encontrados não corroboram a expectativa de que a indústria nacional antiga o objetivo de reduzir as emissões no futuro, considerando um esperado aumento no produto industrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIS, C. T. DE. **Um Estudo Sobre Os Filtros Hodrick-Prescott Baxter-King**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (Indc) Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. [s.l.: s.n.].

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. DA. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3, p. 438–454, set. 2010.

CEPAL - COMISSÃO ECONÔMICA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE. **Relatório Nacional de Monitorização da Eficiência Energética do Brasil** Santiago, 2015. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38864/S1500677_pt.pdf?sequence=1&iAllowed=y>. Acesso em: 17 ago. 2018

EFCTC - EUROPEAN FLUOROCARBONS TECHNICAL COMMITTEE. **Global Temperature change Potential compared to Global Warming Potential**, 2014.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2017: ano base 2016**, 2017.

EULER, A. M. C. O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil. **Cadernos Adenauer**, v. 2, 2016.

FOCACCI, A. Empirical analysis of the environmental and energy policies in some developing countries using widely employed macroeconomic indicators: The cases of Brazil,

- China and India. **Energy Policy**, v. 33, n. 4, p. 543–554, 2005.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. [s.l.] Harvard University Press, 1971.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007.
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement**. Cambridge: [s.n.].
- _____. Economic Growth and the Environment. **Source: The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353–377, 1995.
- KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1–28, 1955.
- MACIEL, H. M.; KHAN, A. S. Intensidade energética dos países integrantes do BRICS (Brasil , Rússia , Índia , China e África do Sul). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 8, p. 443–459, 2017.
- MEADOWS, D. H. *et al.* **The Limits to Growth**. 1972.
- MIKETA, A. Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries. **Energy Policy**, v. 29, n. 10, p. 769–775, 2001.
- MONZONI, M. CONTRIBUIÇÕES PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO ABC E DA INDC NO BRASIL Coalizão Brasil Clima, Floresta e Agricultura. **Resumo executivo**, 2016.
- MOTTA, R. S. DA; ARAUJO, J. L. DE. **Decomposição dos efeitos de intensidade energética no setor industrial brasileiro**, 1989.
- MUELLER, C. C. **Os Economistas e as Inter-relações entre o Sistema Econômico e o Meio-Ambiente**. Brasília: NEPAMA, 2004.
- OC - OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Sistema de Estimativas de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2017.
- SUN, J. W. Three types of decline in energy intensity-an explanation for the decline of energy intensity in some developing countries. **Energy Policy**, v. 31, n. 6, p. 519–526, 2003.

ANEXO 1 – Categorias consideradas da classificação das emissões de GEE por setores de atividade econômica

Setor¹	Categoria
Energia	Geração de eletricidade - Setor Energético Industrial
	Produção de Combustíveis
	Agropecuária*
	Comercial*
	Público*
	Residencial*
Processos Industriais	Transporte*
	Outros Usos*
	Produtos Minerais
	Produção de Metais
	Uso não energético de combustíveis e solventes
Resíduos	Indústria Química
	Emissões de Hidrofluorocarbonetos (HFCs)
	Uso de Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)
	Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais
Resíduos	Incineração de Resíduos Sólidos Industriais - RSI
	Tratamento e afastamento de Efluentes Líquidos Domésticos*
	Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde – RSS*
Resíduos	Disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos –RSU*

Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG (OC, 2017)

* setores não incluídos por não se relacionarem à atividade industrial

ANEXO 2 – Classificação de atividades econômicas por Categorias do BEN 2017 e subcategorias do Setor de Energia do SEEG

	Categorias BEN	Subcategorias SEEG
Industria de Transformação	Alimentos e Bebidas	Alimentos e Bebidas
	Não Metálicos	Cerâmica
		Cimento
	Metalurgia	Ferro Gusa e Aço
		Ferro-ligas
		Não Ferrosos e Outros da Metalurgia
	Papel e Celulose	Papel e Celulose
	Química	Química
Têxtil	Têxtil	
Outras Indústrias	Outras Indústrias*	
Indústria Extrativa		Mineração e Pelotização
Setor Energético		Geração de Eletricidade
		Exploração de Petróleo e Gás
		Produção de Álcool
		Produção de Carvão Mineral
		Produção de Carvão Vegetal
		Refino de Petróleo
	Transporte de Gás Natural	

Fonte: Elaboração própria a partir de dados SEEG/OC (2017/V5.0), BNE (2007) e IBGE

*Corresponde a: mecânica, materiais elétricos e comunicação, materiais de transporte, madeira, mobiliário, borracha, farmacêutica, perfumaria, sabões e velas, produção de matérias plásticas, fumo, construção e diversos