

Emissões de CO₂ na Economia Brasileira: uma Análise de Decomposição¹

Hércules Souza de Medeiros²
Daniela Arduino Dezidera³

RESUMO

O trabalho tem como objetivo estimar as emissões diretas e indiretas de gás carbônico através dos dados oficiais da economia brasileira e de dados oriundos do Balanço Energético Nacional (BEN), procurando correlacionar os resultados. Para tanto, foi utilizada a metodologia de decomposição por índices (IDA), realizando avaliações nas variações temporais de indicadores como: coeficiente de emissões, intensidade energética, efeito estrutura e atividade econômica. Além da avaliação temporal dos resultados considerando os dados disponíveis entre 1970 e 2004, foram comparados os resultados obtidos em outros estudos similares, cujas economias dos países estudados possuem relativa semelhança com a economia brasileira. Os resultados demonstraram que tanto no Brasil como nos demais países onde a metodologia foi aplicada obteve-se como principal indicador nas alterações das emissões de CO₂ o nível de crescimento econômico de cada economia. Isto, para o Brasil, também é realidade, mas está ponderado em cada período por outros fatores. Outra importante comparação está na intensidade de carbono de cada uma das duas economias comparadas. Identificou, ainda, que a matriz energética brasileira, pelas suas características, propicia impacto positivo sobre o resultados das emissões. Demonstrou também que o aumento da participação do gás natural na matriz pode mitigar o efeito intensidade de carbono, principalmente como alternativa para a geração de energia e para o transporte. A utilização de combustíveis “mais limpos”, a aplicação de tecnologias de geração distribuída e a co-geração podem ser boas alternativas para o futuro e o estudo dos índices auxilia na escolha de alternativas mais viáveis e responsáveis.

ABSTRACT

The article intends to estimate the direct and indirect emissions of carbon gas through of the Brazilian economy official data and data from the National Energy Balance (BEN), trying to correlate the results. For this, the decomposition methodology will be used by indexes (IDA), accomplishing evaluations in the temporary variations of indicators as: pollution coefficient, energy intensity, effect structures and economical activity. Besides the temporary evaluation of the results considering the available data between 1970 and 2004, the results were compared with other similar studies, whose savings of the studied countries possess relative similarity with the Brazilian economy. The results demonstrated that so in Brazil as in other countries where the methodology was applied was obtained the level of economical growth as main indicator of the CO₂ emissions alterations for each economy. For Brazil, it is also reality, but it is considered in each period by other factors. Another important comparison is in the carbon intensity of each one of the two compared savings. The Brazilian energetic matrix, for their characteristics, propitiates positive impact on carbon emissions results. It also demonstrated that the increase of the participation of the natural gas in the matrix can mitigate the carbon intensity effect, mainly as alternative for the power generation and transport. The use of cleaner fuels and the application of distributed generation and the co-generation energy technologies can be good alternatives for the future and the study of the indexes can help to end which viable and responsible alternatives.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais representam um dos maiores desafios atuais da humanidade. A crescente emissão de carbono quer seja através do dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄) ou óxido nitroso (N₂O), além de outros GEE (gases de efeito estufa), gera sérios problemas a atmosfera do planeta. Atualmente a humanidade lança algo em torno de sete bilhões de toneladas de CO₂ por ano na atmosfera e, devido a isso, o CO₂ é o gás que mais contribui para o aquecimento global. Sua emissão representa aproximadamente 55% do total de emissões totais dos gases de efeito estufa e o seu tempo de permanência na atmosfera é estimado entre 50 e 200 anos (COOPER, 2000). Isto significa que os

¹ trabalho orientado pelo Prof. Doutor José Antonio Scaramucci (UNICAMP)

² Iqara Energy Services Ltda (BG do Brasil) e aluno do Programa de pós-graduação em planejamento de sistemas energéticos

³ aluna do Programa de pós-graduação em planejamento de sistemas energéticos

resultados das emissões de hoje podem ter efeitos no regime climático ao longo de séculos, como já é possível testemunhar.

Estima-se que, em 1990, o Brasil tenha emitido, pelo menos 285 milhões de toneladas de carbono, das quais 108 milhões com fins energéticos, sendo cerca de 55 milhões resultantes da queima de combustíveis fósseis e 52 milhões da queima de biomassa, conforme indicado em ROSA (2002).

Atualmente a possibilidade da substituição de combustíveis é uma das alternativas para a redução de emissões, principalmente nos grandes centros urbanos. O uso do gás natural em deslocamento do óleo diesel, diferente de outras tantas possibilidades, é real e factível com benefícios econômicos e ambientais. Neste momento discute-se a necessidade de diversificação da matriz energética e integração de fontes, a geração distribuída e a co-geração, os problemas dos sistemas de transportes baseados em combustíveis poluentes e a degradação da qualidade do ar das grandes cidades.

As políticas públicas até o momento voltadas para a racionalização e eficiência energética, por si só, não têm sido suficientes para garantir um adequado nível de desenvolvimento econômico e social associado a sustentabilidade do meio ambiente. Assim sendo é necessário pensar novas alternativas e possibilidades de desenvolvimento sustentável.

IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

O presente trabalho pretende identificar e avaliar, para o caso brasileiro, quais são os fatores que influenciam as emissões de CO₂ (o gás que mais contribui para o efeito estufa no planeta) utilizando metodologias de decomposição já aplicadas em economias semelhantes a do Brasil.

Como em outras economias ditas emergentes, no Brasil ainda não se deu a devida atenção aos estudos de análise por decomposição dos agregados energéticos do ponto de vista do uso, bem como da sua relação com as emissões de gás carbônico. Como o assunto é vasto e permite uma série de possibilidades, principalmente considerando a metodologia a ser aplicada, a idéia é a técnica de decomposição por índices (Index Decomposition Analysis) já usada em estudos para os casos da Índia e Turquia.

PAUL e BHATTACHARYA (2004) aplicaram a análise de decomposição por índices (Complete Decomposition Index), originalmente desenvolvida por SUN (1998), para a Índia. Esta mesma técnica também foi adotada por LIZE (2004) para estudar as relações entre desenvolvimento econômico e emissões de CO₂ na Turquia entre 1980 e 2003.

Logo, este trabalho se impõe como de interessante resultado para demonstrar quais os resultados para o caso brasileiro ao longo das últimas décadas e quais relações podem ser estabelecidas entre a economia nacional e algumas variáveis como poluição, intensidade energética, PIB, nível de atividade da economia, entre outras. Pode-se ainda, fruto dos resultados obtidos pela aplicação da técnica de decomposição proposta, avaliar qual delas reflete de maneira mais adequada a economia brasileira e sua matriz energética e, também, quais as semelhanças e diferenças fundamentais com os países estudados sob a ótica destas metodologias e cuja economia guarda alguma semelhança com a economia brasileira.

ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO: METODOLOGIA APLICADA

A análise de decomposição é uma importante ferramenta para avaliar em uma dada economia, quais as influências do crescimento econômico, alterações nos setores e agentes econômicos, impactos tecnológicos e políticas públicas sobre indicadores socioeconômicos, energéticos e ambientais, cabendo, no entanto, observar que para uma mesma metodologia de decomposição podem ser aplicadas distintas técnicas.

A IDA é uma metodologia estática e comparativa que se baseia em séries históricas com informações agregadas da economia incorporando basicamente efeitos diretos da demanda final nos resultados. Entendem-se como efeitos diretos da demanda final como o aumento da produção de um certo produto fruto das necessidades impostas pelo mercado de maior oferta do referido produto, ou seja, aumento da demanda final.

Com a aplicação da IDA sobre a economia brasileira podem-se obter efeitos sobre nível de atividade (que expressa as variações na produção total do país), intensidade (que identifica o nível de uso de um determinado indicador – neste trabalho estamos interessados em indicadores como intensidade energética e emissões) e estrutura (que demonstra resultados de produção específicos de um determinado setor).

Para efeito da análise de decomposição utilizando a técnica de decomposição completa será demonstrada a decomposição de emissões CO₂ (Em) em função do PIB (GDP - Gross Domestic

Product), através da identidade de Kaya. Para garantir um pleno entendimento, serão usadas terminologias normalmente usadas nos artigos internacionais.

$$Em = \frac{Em}{GDP} GDP \quad (1)$$

Fazendo então as derivações para cada componente da equação, temos:

$$\partial Em = \partial \frac{Em}{GDP} GDP + \frac{Em}{GDP} \partial GDP + \frac{Em}{GDP} \partial GDP \quad (2)$$

Pode-se exprimir (2) como sendo:

$$\Delta Em = \Delta \frac{Em}{GDP} GDP + \frac{Em}{GDP} \Delta GDP + \Delta \frac{Em}{GDP} \Delta GDP \quad (3)$$

Assim,

$$\begin{aligned} \Delta \frac{Em}{GDP} GDP &\rightarrow \text{Efeito intensidade de emissões;} \\ \frac{Em}{GDP} \Delta GDP &\rightarrow \text{Efeito de escala, e;} \\ \Delta \frac{Em}{GDP} \Delta GDP &\rightarrow \text{Termo residual.} \end{aligned}$$

Matematicamente o surgimento do termo residual, como efeito da aplicação da técnica de decomposição, não consiste em grande problema quando observado empiricamente. Em geral, esta observação seria ineficaz do ponto de vista algébrico quando avaliando condições ideais, o que não se verifica na prática. Do ponto de vista econômico, o surgimento do termo residual não possui qualquer significado claro, expondo a fragilidade do modelo para exprimir a realidade.

Assim sendo, uma análise de decomposição completa deve propor adequadamente a eliminação dos termos residuais e, como proposto por SUN (1998), o procedimento aplicado é a distribuição linear e comum entre os termos derivados da identidade de Kaya, conhecido como o princípio “conjuntamente criado e igualmente distribuído” (jointly created and equally distributed). Ou seja:

$$\Delta Em = \left[\Delta \frac{Em}{GDP} GDP + \frac{1}{2} \Delta \frac{Em}{GDP} \Delta GDP \right] + \left[\frac{Em}{GDP} \Delta GDP + \frac{1}{2} \Delta \frac{Em}{GDP} \Delta GDP \right] \quad (4)$$

Considerando as adaptações necessárias a fim de avaliar os efeitos sem as distorções causadas pelos resíduos, a identidade de Kaya assume:

$$\frac{Em}{Pop} = \frac{GDP}{Pop} \sum_i \frac{AV_i}{GDP} \times \frac{EU_i}{AV_i} \times \frac{Em_i}{EU_i} = P \sum_i G_i I_i E_i \quad (5)$$

Onde:

$$\text{Efeito Escala (P)} = \frac{GDP}{Pop}; \quad \text{Efeito Composição (G)} = \frac{AV_i}{GDP};$$

$$\text{Efeito Intensidade Energética (I)} = \frac{EU_i}{AV_i}; \quad \text{Efeito Intensidade Carbono (E)} = \frac{Em_i}{EU_i};$$

Para estabelecer as variações das emissões de CO2 ao longo do período, definem-se ΔP , ΔG_i , ΔI_i e ΔE_i como as respectivas diferenças de índices considerando o ano base de 1990, como definido

pelo Protocolo de Kyoto, conforme indicado em ROSA (2002). Assim, é possível decompor a partir de (5) as variações nos níveis de emissões através dos quatro índices definidos. Primeiro efeito escala (P), representa o incremento de emissões função do crescimento econômico. Se o efeito escala for dominante significa que Em é linearmente dependente de GDP (PIB). Segundo efeito composição ou estrutural (G), representa a variação de emissões função da composição da economia. Se a economia está baseada em setores especializados em produção limpa, então significa que Em deve decrescer ao longo do tempo. Terceiro efeito intensidade energética (I), representa a variação de emissões função das variações de intensidade energética na economia. Este índice tem estreita relação com o grau de tecnologia empregado na economia. Quarto efeito intensidade de carbono (E), representa a variação de emissões função das variações de intensidade de carbono. Este índice está diretamente atrelado com as características da matriz energética do país estudado. É importante frisar que os dois últimos índices são bastante suscetíveis a variações ou mudanças tecnológicas.

A variação das emissões de CO₂ ao longo do período [0,t] é dada como a somatória dos coeficientes P, G, I e E, como demonstrado abaixo:

$$\Delta Ct = P + G + I + E \quad (6)$$

Logo, as equações (7), (8), (9) e (10) a seguir descritas serão usadas para os cálculos, os quais serão reproduzidos em planilha eletrônica.

$$\begin{aligned}
 \text{EfeitoP} = \Delta P \sum_i \left\{ GiLiEi + \frac{1}{2} (\Delta GiLiEi + Gi\Delta LiEi + GiLi\Delta Ei) \right\} + \\
 \Delta P \sum_i \left\{ \frac{1}{3} (\Delta Gi\Delta LiEi + \Delta GiLi\Delta Ei + Gi\Delta Li\Delta Ei) + \frac{1}{4} (\Delta Gi\Delta Li\Delta Ei) \right\}
 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 \text{EfeitoG} = \sum_i \Delta Gi \left\{ PLiEi + \frac{1}{2} (\Delta PLiEi + P\Delta LiEi + PLi\Delta Ei) \right\} + \\
 \sum_i \Delta Gi \left\{ \frac{1}{3} (\Delta P\Delta LiEi + \Delta PLi\Delta Ei + P\Delta Li\Delta Ei) + \frac{1}{4} (\Delta P\Delta Li\Delta Ei) \right\}
 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 \text{EfeitoI} = \sum_i \Delta Ii \left\{ PGiEi + \frac{1}{2} (\Delta PGiEi + P\Delta GiEi + PGi\Delta Ei) \right\} + \\
 \sum_i \Delta Ii \left\{ \frac{1}{3} (\Delta P\Delta GiEi + \Delta PGi\Delta Ei + P\Delta Gi\Delta Ei) + \frac{1}{4} (\Delta P\Delta Gi\Delta Ei) \right\}
 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 \text{EfeitoE} = \sum_i \Delta Ei \left\{ PGiLi + \frac{1}{2} (\Delta PGiLi + P\Delta GiLi + PGi\Delta Li) \right\} + \\
 \sum_i \Delta Ei \left\{ \frac{1}{3} (\Delta P\Delta GiLi + \Delta PGi\Delta Li + P\Delta Gi\Delta Li) + \frac{1}{4} (\Delta P\Delta Gi\Delta Li) \right\}
 \end{aligned} \quad (10)$$

RESULTADOS E AVALIAÇÕES

Para avaliar de forma quantitativa e qualitativa os resultados obtidos através da análise de decomposição aplicada aos números da economia nacional sob o ponto de vista energético e de emissões é importante que sejam verificados os dados usados e de que forma foram aplicados aos cálculos, os cálculos propriamente ditos, executando as rotinas propostas pelos autores e, por fim, a mensuração e entendimentos dos resultados obtidos, tanto do ponto de vista econômico como energético e ambiental. Dar-se-á especial atenção aos dados oriundos do gás natural.

No trabalho que deu origem a este artigo foram avaliados os resultados a partir da seguinte caracterização: por fonte e por setor, ou seja, as fontes divididas em: fontes não renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e derivados, urânio e derivados) e fontes renováveis (hidráulica,

lenha e carvão vegetal, cana-de-açúcar e derivados, outros renováveis); e os setores divididos em: agropecuária, indústria, transportes e energético. Para fins deste artigo não serão apresentados todos os resultados por setor estudado.

4.1. DADOS UTILIZADOS

Para a coleta de dados foram usadas diferentes fontes, desde as tabelas do SCN (Sistema de Contas Nacionais) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) até o BEN (Balanço Energético Nacional) editado pelo MME (Ministério de Minas e Energia) para cada ano avaliado neste trabalho. Assim temos, para o período de 1970 a 2004, os seguintes dados:

- População brasileira (em milhões de habitantes);
- Produto Interno Bruto (em bilhões de reais);
- Total de energia primária fornecida por fonte (em tep), e;
- Total de energia primária consumida por setor (em tep).

4.2. CÁLCULO DE EMISSÕES

Para o cálculo das emissões, foram utilizados os dados e a metodologia utilizada pelo IPCC, que foram expressos no estudo realizado pela COPPE-UFRJ quando da elaboração do primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa (ROSA, 2002).

O total das emissões de carbono é expresso como sendo:

$$Em_j(t) = OIE \times FEC \quad Em[tC] \quad (11)$$

Obs: 1tep Padrão = 41,868 x 10⁻³ TJ (BEN, 1998).

4.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA E TEMPORAL DOS RESULTADOS

Uma vez encontrados os resultados a partir da metodologia proposta, é preciso, agora, avaliar qualitativamente as principais considerações que irão conduzir a aplicação para o caso brasileiro. Naturalmente, o período analisado (1970 a 2004) retrata a disponibilidade de dados, mas talvez seja o período mais importante em termos econômicos, pois anteriormente talvez não fossem significativos os resultados, tendo em vista que, para o período estudado, são claras as mudanças políticas, econômicas, sociais e tecnológicas. Contudo, praticamente todos os estudos que tratam da questão da decomposição — semelhante àquela com que se trabalha aqui — têm mostrado que os resultados se deterioram quando o intervalo analisado é “demasiado” grande (MENDONÇA e GUTIERREZ, 2000).

Assim, os períodos foram divididos da seguinte forma, considerando os aspectos históricos relevantes e o adequado enquadramento dos dados obtidos:

Período de 1970/75, conhecido como período de energia barata. Durante os três primeiros anos da década de 1970, o preço do petróleo, principal insumo energético, era bastante acessível. Considera-se que, diante da alta do preço do petróleo no mercado internacional, devido ao primeiro choque, não houve impacto significativo e imediato na economia brasileira função de uma política desenvolvimentista baseada na estratégia de crescimento com endividamento. Essa opção só foi possível graças à disponibilidade de recursos financeiros oriundos de bancos privados internacionais.

Período de 1975/80 dá continuidade à política desenvolvimentista seguida pelos governos militares. Foi implantado o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), que tinha como objetivo a instalação de um parque industrial consolidado, de modo a assegurar o crescimento econômico numa base mais sólida. O II PND considerava prioritários os setores de bens de equipamentos, eletrônica, indústria pesada e bens intermediários.

Período de 1980/85 é marcado pelo início de um processo firme de ajuste, deflagrado em consequência da crise econômica mundial gerada pela política de elevação da taxa de juros adotada nos Estados Unidos. O aumento das taxas de juros no mercado americano tinha como objetivo conter a retomada da inflação advinda do segundo choque do petróleo. Foi nesse período que entrou em operação o programa do álcool (Pró-álcool) como alternativa perante a importação de petróleo. Também a partir de 1980, houve um crescimento acentuado da produção interna de petróleo. A combinação desses dois eventos, mais a queda da demanda interna, contribuiu significativamente para uma acentuada diminuição da dependência externa de petróleo e, em longo prazo, acabou sendo, juntamente

com a queda contínua do preço internacional do barril de petróleo, um dos fatores de início do declínio do programa do álcool.

Período de 1985/90, apesar de marcar o retorno à democracia, está ligado a um momento de alto desequilíbrio macroeconômico. Decorre daí que as metas de política econômica estavam voltadas basicamente para a solução de problemas conjunturais como, por exemplo, o controle da inflação. Todos os planos governamentais do período partilhavam desse objetivo, e nenhum teve uma proposta de ação de cunho estrutural. Quanto ao setor energético, em nível mundial, é nesse período que se observa uma mudança na tendência de alta do preço do petróleo. No plano interno há a consolidação e, ao mesmo, estagnação do programa do álcool e o aumento da importação de petróleo decorrente da recuperação do nível da atividade econômica.

Período de 1990/95, apesar de conturbado no panorama político, pode ser relacionado, em termos puramente econômicos, com o momento que marca uma mudança em direção a um processo de abertura comercial da economia que se instalou a partir de 1990. Houve assim, a reestruturação do setor industrial, tendo em vista uma série de fatores, incluindo o uso da energia. Nessa procura pela maior eficiência, a indústria nacional teria de introduzir formas mais racionais de produção, resultando, no plano energético, num consumo menos intensivo em energia.

Período de 1995/2000 é marcado pelo impacto do plano de reestruturação econômica de 1994 e pela crise desencadeada em 1999 pelo ataque especulativo que ocorreu ao longo das economias do mundo, caso da Ásia e Europa do leste. No Brasil, função das medidas de restrição de investimentos do estado, houve um completo desarranjo no setor elétrico, culminando com a crise de 2001.

Período de 2000/04 é marcado pelo impacto provocado pela crise energética de 2001. Do ponto de vista econômico, ainda muito recente para uma consolidação prática, mas politicamente marcado pela transição de governo de 2002 que trouxe certo incômodo ao mercado interno.

Conhecidos os períodos e os principais fatos pelos quais passou a economia brasileira serão demonstrados e discutidos os resultados obtidos a partir da metodologia de decomposição aplicada aos períodos assinalados e setores escolhidos para análise. A Tabela 1 apresenta os resultados da decomposição agregada de CO₂ pela aplicação da metodologia proposta por SUN (1998). Note que foram determinados dois agregados de emissões, um oriundo das contribuições totais da matriz energética e outro especificamente da contribuição do gás natural.

Tabela 1 - Resultados da Decomposição Agregada.

ESPECIFICAÇÃO	UN.	1970-1975	1975-1980	1980-1985	1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2004
Efeito Escala P _{GN}	tC	2,29	3,37	-1,68	-0,13	5,02	2,86	2,80
Efeito Escala P _{TOT}	tC	1210,19	900,38	-206,59	-9,49	280,61	116,96	65,23
Efeito Composição G _{GN}	tC	-4,02	-6,98	2,46	-4,59	-7,73	-19,45	-21,00
Efeito Composição G _{TOT}	tC	-1747,77	-1439,83	258,14	-252,17	-335,97	-631,13	-397,96
Efeito Intensidade Energética I _{GN}	tC	4,00	6,27	3,31	3,53	7,49	17,89	34,58
Efeito Intensidade Energética I _{TOT}	tC	1256,19	1137,84	379,82	187,91	318,78	436,33	605,38
Efeito Intensidade de Carbono E _{GN}	tC	6,87	6,28	28,36	20,10	5,59	64,96	92,88
Efeito Intensidade de Carbono E _{TOT}	tC	-556,42	-460,64	-365,13	-151,15	-195,22	81,30	-110,25
Total Agregado								
D_{GN}	tC	9,14	8,95	32,45	18,91	10,37	66,26	109,26
D_{TOT}	tC	162,18	137,76	66,24	-224,89	68,20	3,46	162,41

Fonte: Elaboração Própria.

Como pode ser visto na tabela, o emprego da metodologia de decomposição mostrou-se bastante razoável. É provável que o bom nível dos resultados tenha sido consequência da partição de

todo o período em intervalos apropriados, ou seja, cinco anos, que é o intervalo que foi empregado nesse estudo. Ainda observando os resultados da Tabela 1, vários pontos merecem destaque:

Pelos cálculos, os níveis de emissões da economia brasileira atual (2000/04) encontram-se semelhantes aos níveis do período 1970/75. Verificando-se cada um dos efeitos, houve uma contribuição de todos, mas preponderantemente função do efeito estrutural da economia e do equilíbrio na matriz energética;

Um aumento significativo de 91,63% na participação do gás natural na matriz energética nacional;

No agregado total, vê-se de forma latente, que nos períodos em que houve restrição econômica acentuada, mudança de paradigmas tecnológicos ou econômicos ou, ainda, crise energética, o índice é vertiginosamente menor que nos demais períodos, chegando a ser negativo no período de 1985/90;

Algumas mudanças de paradigmas tecnológicos são parte do resultado composto, como no período de 1985/90, onde houve uma consolidação do Pró-álcool e da geração hídrica, perfeitamente captada pela redução do efeito intensidade energética;

Também é possível captar pelo método, nos períodos de 1980/85 e 1985/90, os resultados danosos à economia brasileira da política desenvolvimentista dos governos militares, que culminou com a profunda crise agravada pelos sucessivos planos econômicos fracassados. Particularmente os efeitos escala e composição são bastante sensíveis aos fatores econômicos.

Os resultados determinam que o efeito escala vem sendo reduzido, apesar de permanecer ainda como responsável por 40% das emissões totais. Que a intensidade de carbono é um efeito que vem crescendo significativamente apesar ainda de se mostrar marginal por ser negativo e que, o efeito intensidade energética permanece preponderante na economia nacional como mais efetivo na contribuição das emissões de CO₂.

Do ponto de vista da análise temporal, a série usada mostra-se bastante aderente à realidade. Dos setores estudados, para cada sub-período, os efeitos atuam cada qual com diferentes perspectivas. O efeito intensidade de carbono é predominantemente negativo em praticamente todos os períodos das mais de três décadas estudadas, mostrando que a matriz energética é uma forte componente no resultado final de emissões. A componente escala é crescente ao longo do período a menos dos períodos de dificuldades econômicas do país. Numa análise geral, os valores agregados mostram que, ao longo do período analisado, não houve uma deterioração acentuada da intensidade agregada de CO₂ na economia brasileira. Entretanto, deve-se estar atento para a evolução futura desses indicadores.

O CO₂ é o mais importante gás de efeito estufa, e o seu monitoramento é fundamental para contribuir na definição de indicadores de sustentabilidade que podem ser um importante passo no sentido de garantir a redução gradual e contínua das emissões mundiais. A primeira importante e decisiva tarefa neste sentido seria a diferenciação na utilização de fontes de energia não-renováveis em contraposição às fontes ditas renováveis.

Em relação a outros estudos verificados, o Brasil encontra-se numa posição confortável em relação ao balanço entre fontes renováveis e não-renováveis. A maioria dos países que possuem uma posição econômica semelhante à brasileira possui desvantagens competitivas em relação a matriz energética. O uso da IDA para avaliar as emissões pode ser útil também para determinar quais as ferramentas mais adequadas para a determinação de um índice de sustentabilidade adequado.

4.4. COMPARAÇÃO COM OUTROS ESTUDOS

Este estudo surgiu do interesse de se realizar para o caso brasileiro uma abordagem metodológica usada em economias semelhantes, mas que não necessariamente apresentariam resultados que expressam a mesma composição de emissões.

A primeira grande observação está no fato do tamanho e importância das economias abordadas nos estudos de LIZE (2004) na Turquia e BHATTACHARYA e USSANARASSAMEE (2005) na Índia. Em ambos os casos são países que possuem realidades bastante distintas, culturas absolutamente diferentes e posições distintas na economia internacional, com bases estruturais diferentes entre si e em relação ao Brasil. Outra importante observação refere-se aos setores escolhidos para análise e os períodos estudados, para os quais não haverá comparações nos sub-períodos.

Não obstante aos fatores mencionados, fica claro comparando os resultados obtidos em cada trabalho que tanto para a Turquia quanto para Índia o mais importante indicador nas alterações das emissões de CO₂ é o efeito escala, que denota o nível de crescimento econômico de cada economia. Isto, para o Brasil, também é realidade, mas está ponderado em cada período por outros fatores. Outra importante comparação está na intensidade de carbono de cada uma das duas economias comparadas. No caso brasileiro, isto deve ser levado como uma grande vantagem, que é pouco explorada, tendo em vista que tanto a Turquia quanto a Índia possuem matrizes energéticas predominantemente baseadas em energia não-renovável.

CONCLUSÕES

Este trabalho procurou apresentar o uso de uma metodologia de decomposição por índices econômicos capaz de avaliar a influência de alterações no uso energético e na economia brasileira para as emissões de CO₂. Os fatores que contribuem para as referidas alterações são o efeito escala (atividade econômica), o efeito intensidade energética, o efeito composição da economia nacional (estrutura) e o efeito intensidade de carbono, que exprime o teor de carbono contido na matriz energética do país.

Identificou que na economia brasileira, apesar das características da matriz energética nacional, as constantes flutuações da economia nacional ainda são o grande fator de impacto sobre o resultados das emissões, mas não o único, demonstrado ao longo do período estudado e cuja sensibilidade durante os períodos de crise foi latente. Demonstrou ainda que o uso do gás natural em detrimento de outros combustíveis fósseis na geração de energia e nos transportes é uma medida interessante e tende a mitigar o efeito intensidade de carbono, pois em termos de mercado tende a deslocar combustíveis fósseis mais pesados e poluentes para gerar energia e proporcionar transporte público eficiente.

Pela análise do exposto é necessário avaliar melhor os resultados desta pesquisa e verificar todos os efeitos de emissões, do ponto de vista da metodologia aplicada e da composição dos dados obtidos e avaliar se, talvez, sejam adequados da forma como foram utilizados. Outra importante medida para “calibrar” os resultados é o uso de outras técnicas e metodologias. Desta forma, garantindo a qualidade dos dados e dos cálculos, restaria avaliar os resultados de forma mais precisa em todos os aspectos.

Outra importante avaliação que necessita ser realizada com mais detalhe é a contribuição do gás natural, que foi destacado neste estudo, tendo este energético uma amplitude que está sendo maximizada e se apresenta neste momento como uma importante alternativa energética para o país.

Porém, para tornar mais completos os resultados das análises de decomposição, há que se encontrar um caminho no qual a IDA possa contribuir de forma mais efetiva para o estabelecimento de indicadores de sustentabilidade econômica e ambiental. Este é um importante desafio para o qual o Brasil está numa posição privilegiada e poderá contribuir decisivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BHATTACHARYA, S.C. e USSANARASSAMEE, A – “Changes in the Energy Intensities of Thai Industry between 1981 and 2000: a Decomposition Analysis” in Energy Policy 33, p. 995-1002, 2005.
- BEN – “Balanço Energético Nacional” – MME, 2005.
- COOPER, R. N. – “International Approaches to Global Climate Change”, in Research Observer, vol.15, number 2, 2000.
- LISE, W. – “Decomposition of CO₂ Emissions over 1980-2003 in Turkey” in Energy Policy, 2004.
- MENDONÇA, M.J.C e GUTIERREZ, M.B.S – “O Efeito Estufa e o Setor Energético Brasileiro” in Texto para Discussão, IPEA, Rio de Janeiro, 2000.
- PAUL, S., BHATTACHARYA, R.N. – “CO₂ Emission from Energy Use in India: a Decomposition Analysis” in Energy Policy 32, p. 585-593, 2004.
- ROSA, L.P...et al – “Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-down” in Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- SUN, J.W – “Changes in Energy Consumption and Energy Intensity: a Complete Decomposition Model” in Energy Economics 20, p. 85-100, 1998.
- WACHSMANN, U. – “Mudanças no Consumo de Energia e nas Emissões Associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996 – Uma Análise de Decomposição Estrutural”; Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.