

# ESTIMATIVIVA DE UMA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL APLICADA AO CONSUMO DE ENERGIA E ÀS EMISSÕES DE CARBONO DO BRASIL<sup>1</sup>

André Frossard Pereira de Lucena

Proponentes da Hipótese Curva de Kuznets Ambiental (CKA) afirmam que a pressão sobre o meio ambiente é crescente nos primeiros estágios de desenvolvimento para, depois, cair com o aumento da renda per capita. Essa relação seria representada por uma função na forma de “U-invertido”. No contexto da discussão sobre a existência da CKA, este trabalho visa estimá-la, econometricamente, para o Brasil, usando consumo de energia final, assim como as emissões de CO<sub>2</sub> advindas desse, como medida de pressão ambiental. As estimativas para energia apontam para um ponto de inflexão em um nível de renda fora do universo amostral. Desta forma, as evidências encontradas indicam que o Brasil estaria no estágio intermediário, antes da transição para a parte descendente da curva, no que se refere ao consumo final de energia *per capita*, embora não seja possível confirmar a existência da CKA para essa variável. Para emissões de CO<sub>2</sub>, os resultados indicam uma relação linearmente crescente.

## **1.Introdução**

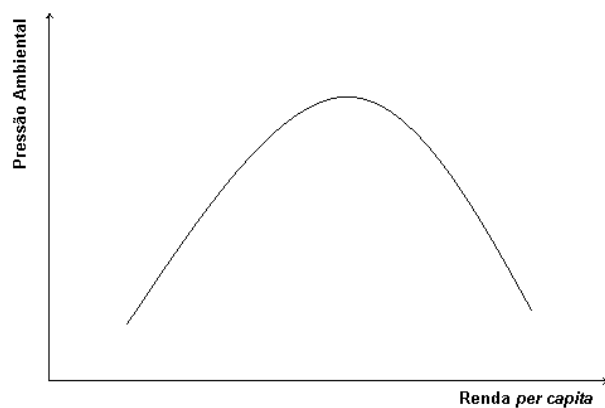
A preocupação com os impactos que as atividades humanas têm sobre o meio ambiente tem crescido em importância nas últimas décadas. Especificamente, tem se voltado a atenção para a relação entre o desenvolvimento econômico e seus impactos ambientais. Nesse contexto, alguns autores investigaram uma relação que passaria a ser chamada de Curva de Kuznets Ambiental (CKA), em que algumas medidas de estresse ambiental aumentariam nos momentos iniciais do desenvolvimento, mas, eventualmente, passariam a cair quando um certo nível de renda fosse alcançado (Grossman e Krueger, 1991 e 1995; Shafik e Bandyopadhyay, 1992; Selden e Song, 1994).

De acordo com essa hipótese, os países passariam por estágios de desenvolvimento, regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental. No primeiro

estágio, marcado pela transição de uma economia tradicional agrícola para uma industrializada, o crescimento econômico implica em uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, resultado da criação e ampliação do parque industrial. O estágio seguinte seria caracterizado pela maturação da sociedade e da infra-estrutura industrial. Nesse ponto, o atendimento das necessidades básicas permite o crescimento de setores menos intensivos em recursos e poluição e as melhoras técnicas, assim como o estreitamento da regulação ambiental, começam a reduzir a intensidade de matéria/energia e rejeitos da produção. Por fim, no terceiro estágio de desenvolvimento, ocorreria o “descolamento” (*de-linking*) entre o crescimento econômico e a pressão sobre o meio ambiente, a partir do qual o primeiro não mais implica em um aumento do segundo. (Grossman e Krueger, 1991 e 1995; Shafik e Bandyopadhyay, 1992; Selden e Song, 1994, Machado, 2002)

A CKA é representada graficamente por uma medida de pressão ambiental como uma função na forma de “U-invertido” da renda per capita, como mostra a Figura 1, sendo o primeiro estágio a parte ascendente da curva, o terceiro a parte descendente e o segundo o período de estabilização entre os dois. Diversos estudos<sup>2</sup> estimaram essa curva econometricamente, chegando a diferentes resultados, dependendo das especificações e das variáveis incluídas no modelo. Tal formato foi vislumbrado por Kuznets (1955) para explicar a relação entre nível de atividade econômica e distribuição de renda, daí a menção à Kuznets na CKA.

**Figura 1 - CKA**



Os fatores responsáveis para o formato descrito pela CKA identificados na literatura são vários. A inversão da trajetória positivamente inclinada para uma negativamente inclinada foi atribuída por Selden e Song (1994) a: uma elasticidade renda positiva para qualidade ambiental, ou seja, conforme aumenta a renda, as pessoas tendem a querer mais qualidade ambiental; mudanças na composição da produção e do consumo; níveis maiores de educação ambiental e conscientização das consequências da atividade econômica sobre o meio ambiente; sistemas políticos mais abertos. Aumento na rigidez da regulação ambiental, melhoras tecnológicas e a liberalização comercial também são apontados como possíveis causadoras do “descolamento” (Cole, 2004; Stern, 2004). Stern (2004) vai além e classifica tais fatores em dois grupos. No primeiro, ele inclui aqueles que afetam diretamente a relação entre crescimento econômico e pressão ambiental – escala de produção, mudanças estruturais na composição da produção, avanços tecnológicos, mudanças nos recursos utilizados na produção. O segundo grupo é daqueles fatores que têm efeito através dos fatores descritos acima. São eles: regulação, educação e conscientização ambiental.

Para alguns autores (Suri e Chapman, 1998; Cole, 2004; Arrow *et al.*, 1995, Stern *et al.*, 1996), uma possível causa para a CKA seria o deslocamento das indústrias intensivas em poluição para os países de renda mais baixa em função dos diferenciais de regulação ambiental, conforme prevê a Hipótese dos Paraísos de Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*). Segundo essa hipótese, os diferenciais de rigidez na regulação ambiental entre países industrializados e países em desenvolvimento gerariam vantagens comparativas em produtos intensivos em poluição para os últimos. Isso geraria uma transferência de atividades poluidoras para os países em desenvolvimento. Caso essa hipótese seja verdadeira, para que a trajetória da CKA seja seguida por esses países, a elasticidade renda por produtos manufaturados, em particular aqueles intensivos em poluição, deve ser negativa quando se atinge um alto nível de renda (Cole, 2004).

Embora seja reconhecido que a trajetória descrita pela CKA não é automática, e sim resultado de uma combinação de fatores exógenos<sup>3</sup>, ela tem fortes implicações no que diz respeito ao alcance do desenvolvimento sustentável, uma vez que esse seria alcançado com o crescimento da renda. Assim, os objetivos ambientais seriam compatíveis com a

manutenção do modelo de desenvolvimento vigente. Em outras palavras, chegaríamos a um ponto onde o crescimento econômico não mais agrediria o meio ambiente<sup>4</sup>.

O atual status da CKA, entretanto, é o de uma hipótese sobre a relação entre o crescimento econômico e a pressão sobre o meio ambiente. Ela é um resultado empírico encontrado para um grupo seletivo de países que está sujeito a uma série de críticas (Arrow *et al.*, 1995; Stern, 2004; Stern *et al.* 1996; De Bruyn *et al.* 1998; Dinda, 2004). Primeiramente, evidências da CKA só foram encontradas para alguns tipos de poluentes, em especial aqueles de impacto local e com baixo custo de controle. Poluentes que envolvem custos ambientais dispersos e de longo prazo, como gases de efeito estufa, por exemplo, não apresentam a trajetória proposta pela Hipótese da CKA. Seria um equívoco, portanto, generalizar essa relação para todos os impactos antropogênicos sobre o meio ambiente. Ademais, a natureza cumulativa de alguns poluentes faz com que suas emissões não representem os reais impactos ambientais que eles causam. Outra crítica levantada com relação à Hipótese da CKA é o fato de ela desconsiderar a capacidade de assimilação do meio ambiente e as peculiaridades de cada ecossistema. Ela tampouco considera a relação bilateral entre desenvolvimento e a pressão sobre o meio ambiente, não levando em conta que o último pode gerar entraves à realização do primeiro.

O “determinismo da renda” é apontado como uma fraqueza da Hipótese da CKA. A noção de que o nível de renda é o principal determinante dos níveis de poluição é contestada por alguns autores. Unruh e Moomaw (1998), por exemplo, argumentam que a renda não é a principal força por trás das emissões de CO<sub>2</sub>, mas sim eventos históricos coincidentes com ela. Além disso, os autores questionam a afirmativa de que a trajetória seguida pelos países desenvolvidos seja única e que irá se replicar para todos os países.

Muitas das críticas à CKA foram direcionadas à abordagem metodológica comumente utilizada para testá-la empiricamente (Stern, 2004; Dinda, 2004). O uso de modelos de regressão de uma única equação para diversos países está fortemente sujeito a problemas de disponibilidade e comparabilidade de dados e a vieses relacionados à escolha ou omissão de variáveis explicativas. Tal metodologia é criticada também por não fornecer informações sobre as causas da relação por ela explicada.

No escopo do que será testado neste artigo, duas críticas específicas são pertinentes. Uma é a possibilidade da CKA ser gerada pela transferência das atividades poluidoras para

os países de renda mais baixa, conforme prevê a Hipótese dos Paraísos de Poluição. A outra, mais relevante para este estudo, é o pressuposto de que a trajetória exibida nos estudos empíricos reflete somente aquela seguida por um grupo seletivo de países, não podendo ser generalizada.

Na linha da segunda crítica, o objetivo deste trabalho é verificar se essa hipótese se aplica ao Brasil. Para isso é estimada, econometricamente com o uso de séries temporais, uma CKA utilizando como medida de pressão ambiental o consumo de energia final além das emissões de CO<sub>2</sub> advindas desse.

Para atender a esse objetivo, este artigo está organizado da seguinte forma: inicialmente, será explicitada a abordagem metodológica utilizada na estimativa da CKA para o Brasil; em seguida, serão discutidos, brevemente, os dados utilizados; a quarta seção apresenta e interpreta os resultados; por fim, a última seção conclui este trabalho.

## **2. Metodologia**

Este artigo utiliza a análise de regressão múltipla, abordagem metodológica comumente usada na literatura para testar a Hipótese da CKA. Os estudos que abordam um grupo de países utilizam, em sua maioria, dados de painel – i.e. variações de dados seccionais (um conjunto observado em determinado instante) ao longo do tempo. Diferentemente, por abordar um único país, a análise deste artigo é feita com séries temporais. O modelo é composto por uma única equação, exposta abaixo:

$$E_t = \alpha + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \beta_4 VC_t + \beta_5 (D.VC_t) + \mu_t$$

em que  $E$  representa o consumo energético final ou as emissões de carbono, em termos *per capita*;  $\alpha$  é uma constante;  $Y$  é a renda per capita;  $VC$  é o volume de comércio;  $D$  é uma variável *dummy* para os anos após 1996;  $\mu$  representa o erro estocástico; o subscrito  $t$  representa o ano.

O modelo descrito acima permite testar várias formas de relação entre renda e qualidade ambiental. Dependendo dos sinais dos coeficientes ( $\beta$ ) estimados, a função de

regressão acima assume formatos distintos, que representam tipos diferentes de relação. Basicamente:

i.se  $\beta_1 > 0$  e  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ , então a relação entre renda per capita e pressão ambiental é monotonicamente positiva e linear, onde um aumento da primeira leva a um aumento constante da segunda (Figura 2a);

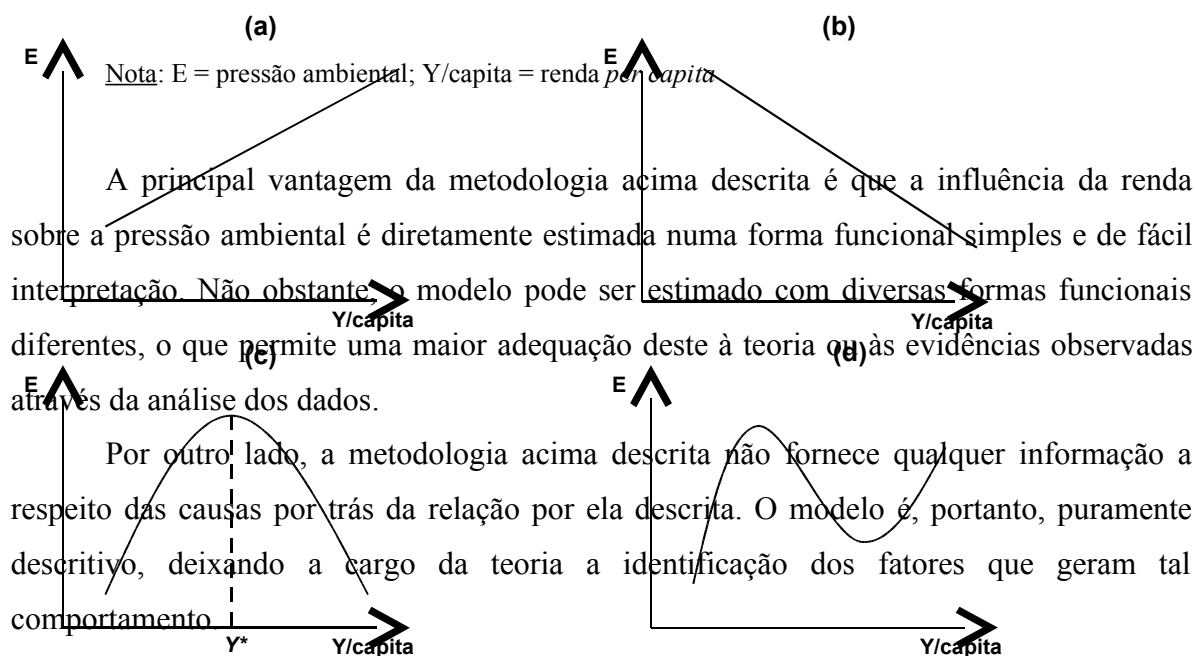
ii.se  $\beta_1 < 0$  e  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ , então a relação entre renda per capita e pressão ambiental é monotonicamente negativa e linear (Figura 2b);

iii.se  $\beta_1 > 0$  e  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 = 0$ , então a relação entre renda per capita e pressão ambiental pode ser representada pela CKA (Figura 2c). A partir dessa função quadrática com concavidade para baixo (na forma de “U-invertido”) pode-se calcular o ponto de inflexão ( $Y^*$ , o ponto máximo) igualando  $\partial E / \partial Y = 0$ , cujo resultado é:

$$Y^* = -\beta_1 / 2\beta_2$$

iv.se  $\beta_1 > 0$  e  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$ , a relação passa a assumir a forma de “N”, como na Figura 2d. Nesse caso, a CKA representaria apenas um estágio dessa relação, antes que houvesse o “recasamento” a partir do segundo ponto de inflexão.

**Figura 2 – Diferentes Possibilidades para a Relação Renda – Pressão Ambiental**



### 3.Dados

A Hipótese da CKA foi testada para diversos tipos de poluentes. Um grande número de estudos focalizou aqueles que estão diretamente ligados ao uso de energia, como emissões de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, material particulado e CO<sub>2</sub><sup>5</sup>. A ausência de uma base de dados objetiva, longa e contínua que possibilitaria uma análise em séries temporais para o Brasil faz com que seja necessário o uso de uma *proxy* para impactos ambientais. Desta forma, é utilizado com variável dependente o consumo final de energia<sup>6</sup> *per capita*, além das emissões de CO<sub>2</sub> *per capita* provenientes deste (calculadas em Lucena, 2005)<sup>7</sup>. Vale ressaltar, contudo, que o aumento no consumo energético não necessariamente acarreta em um aumento da emissão de alguns poluentes em função de avanços em tecnologias de controle de poluição através de dispositivos “fim de linha”.

A variável explicativa comum a todos os estudos sobre a Hipótese da CKA é uma medida da atividade econômica ou da renda. Será usado, aqui, o PIB (Produto Interno Bruto) real *per capita*<sup>8</sup>. Na linha do modelo explicitado na seção anterior, também serão incluídos na equação de regressão múltipla os valores do PIB *per capita* elevados à segunda e terceira potência para testar as possibilidades de inflexão. Segundo Suri e Chapman (1998), a segunda potência do PIB capta os aspectos da economia que não se mantêm constantes conforme ela cresce. Esses incluem as mudanças estruturais na economia, assim como avanços tecnológicos, maior regulamentação ambiental, etc.

Com o intuito de avaliar até que ponto a liberalização comercial brasileira influenciou o consumo final de energia no Brasil, será incluído, como variável explicativa, o volume de comércio (soma das importações e exportações) como proporção do PIB<sup>9</sup>. Tal variável representa a importância relativa do comércio internacional dentro da economia, que, por sua vez, tende a aumentar com a liberalização do comércio. Embora o processo de abertura comercial brasileiro<sup>10</sup> tenha começado no final dos anos 1980 e no início dos anos 1990, o volume de comércio como proporção do PIB só começou a demonstrar um comportamento diferente a partir de 1996. A importância relativa do comércio dentro da economia brasileira demorou a ser afetada pelo processo de abertura comercial. Após 1996, contudo, observa-se uma tendência de crescimento do volume de comércio em relação ao PIB. Dessa forma, será incluída na análise uma variável *dummy* para os anos *pós* 1996, na tentativa de captar essa possível quebra estrutural.

O período amostral considerado é aquele para o qual se tem dados de consumo energético disponíveis, que vai de 1970 até 2003<sup>11</sup>.

#### **4.Resultados estatísticos e interpretação**

O resultado das estimativas do modelo proposto apresentou, inicialmente, autocorrelação de primeira ordem dos resíduos, tanto para consumo energético final quanto para emissões de CO<sub>2</sub>. Isso foi corrigido pelo uso de Mínimos Quadrados Generalizados (MQG<sup>12</sup>).

O modelo estimado para consumo energético final é mostrado na Tabela 1, junto com algumas estatísticas teste selecionadas. Não foi encontrada significância estatística para o intercepto ( $\alpha$ ), para a terceira potência do PIB *per capita* e para o volume de comércio como proporção do PIB para todos os anos. Os sinais para os coeficientes estimados indicam que a relação entre o consumo energético final *per capita* e a renda média segue o formato ilustrado pela Figura 2c, ou seja, justamente aquele descrito pela Hipótese da CKA. O ponto de inflexão ( $Y^*$ ) calculado para essa função de regressão é de R\$ 12.775, valor bastante acima da última observação da amostra (R\$8.565), indicando que o Brasil estaria no estágio intermediário da CKA, antes do descolamento.

No que tange à variável de comércio, ela somente mostrou significância estatística para os anos após 1996. O sinal do coeficiente estimado para essa variável explicativa sugere uma relação positiva, onde um aumento na importância relativa do comércio na economia eleva o consumo energético final *per capita*.

**Tabela 1 – Função de Regressão Estimada para Consumo Energético *per capita***

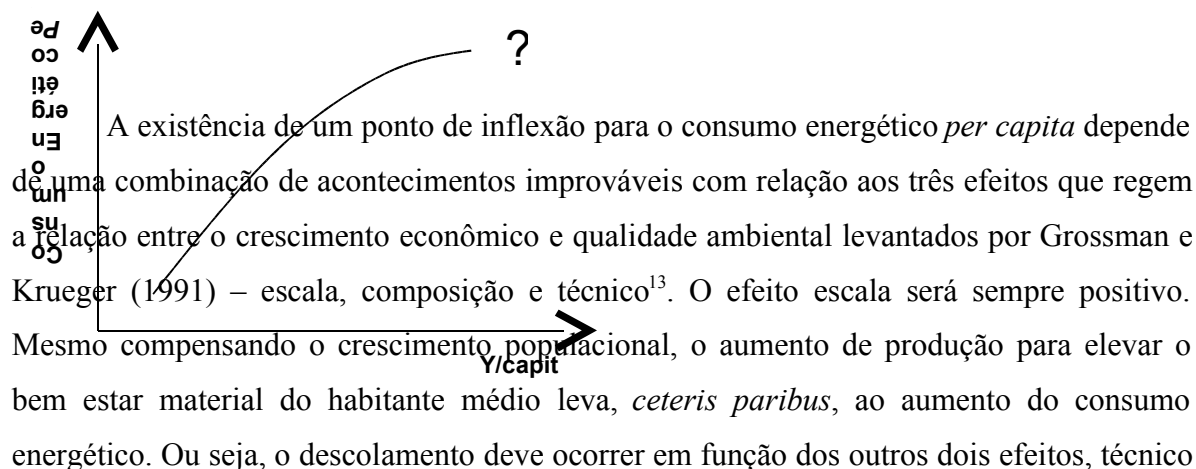
<b>CE/cap<sub>t</sub> =</b>	<b><math>1,51 \times 10^{-7} Y_t - 5,91 \times 10^{-12} Y_t^2 +</math></b>	<b><math>0,00024 (D \cdot VC_t) + \mu_t</math></b>	
<b><u>Desv. P:</u></b>	<b><math>(9,54 \times 10^{-9})</math></b>	<b><math>(1,2 \times 10^{-12})</math></b>	<b><math>(6,16 \times 10^{-5})</math></b>
<b><u>I.C. 95%:</u></b>	<b><math>(\pm 1,95 \times 10^{-8})</math></b>	<b><math>(\pm 2,44 \times 10^{-12})</math></b>	<b><math>(\pm 1,26 \times 10^{-4})</math></b>
<b><u>Estat.- t:</u></b>	<b><math>(15,88)</math></b>	<b><math>(-4,93)</math></b>	<b><math>(3,40)</math></b>
<b><u>P-valor:</u></b>	<b><math>(0,000)</math></b>	<b><math>(0,000)</math></b>	<b><math>(0,000)</math></b>
	<b><math>\mu_t = 0,73 \mu_{t-1} + \varepsilon_t</math></b>		



<b><u>Desv. Padrão:</u></b>	<b>(0,086)</b>
<b><u>I.C. 95%:</u></b>	<b>(± 0,175)</b>
<b><u>Estat.- t:</u></b>	<b>(8,48)</b>
<b><u>P-valor:</u></b>	<b>(0,000)</b>
<b><u>R<sup>2</sup>: 0,97</u></b>	
<b><u>Estadística Durbin-Watson: 1,5738 (ausência de autocorrelação)</u></b>	

Embora a função de regressão estimada indique que o descolamento ocorre quando a renda per capita alcança R\$12.775 (em R\$ de 2003), não se deve tomar esse ponto de inflexão como fato. Uma relação estatística, por mais robusta que seja, não pode inferir uma relação determinística. Assim, o uso do modelo deve ficar restrito à análise histórica da relação. A capacidade de explicação deste se limita ao resultado que, nas últimas três décadas, a intensidade energética do produto por habitante diminuiu. Nos termos da função estimada, o sinal negativo do termo quadrático capta apenas esse efeito, uma vez que o nível de renda estimado para a inflexão está fora do universo amostral. Gráficamente, seria mais apropriado interpretar o resultado como representado na Figura 3, sendo a continuação da curva incerta. Além da possibilidade da inflexão, existe a chance de reversão da trajetória de estabilização, retornando a uma relação positiva crescente. Não há como afirmar que a tendência captada pelo modelo não vá se reverter no futuro, como resultado de novos desdobramentos da economia brasileira.

**Figura 3**



e composição. Para o primeiro existem limites físicos que o impedem de ser eternamente crescente. O segundo leva ao descolamento somente se os setores que produzem bens intensivos em energia diminuïrem sua produção em termos absolutos. Essa última condição só ocorre, devido à elasticidade renda positiva para bens industrializados, caso a produção nacional seja substituída pela importação desses bens. A solução seria, então, alcançar o descolamento através do comércio internacional, importando bens energo-intensivos.

Este, entretanto, não é o caso. Com o intuito de avaliar a participação do comércio internacional na evolução do consumo energético, foi incluída na análise uma medida de abertura comercial. Após 1996, observa-se uma tendência de crescimento do volume de comércio em relação ao PIB. A variável *dummy* de intercepto para os anos após 1996 (**D**) foi incluída na regressão para testar um possível diferencial entre os coeficientes, nos períodos *pré* e *pós* 1996. Os resultados encontrados mostram que a variável volume de comércio como proporção do PIB possui relevância estatística somente após 1996, indicando que o aumento da importância relativa do comércio teve um impacto positivo no aumento do consumo energético final brasileiro após 1996<sup>14</sup>. Embora se tenha optado por definir a quebra estrutural para essa variável em 1996, ela não é absoluta. De fato, ela foi escolhida em função do comportamento da série temporal e não por considerações históricas ou teóricas. Pode haver, portanto, algum viés relacionado à escolha do ano para a quebra estrutural.

Já a estimativa para as emissões de CO<sub>2</sub> apresentou um formato como o ilustrado na Figura 2a. Os estimadores para o intercepto ( $\alpha$ ), para a segunda e terceira potência da renda e para as variáveis de comércio não foram estatisticamente significantes, resultando em uma função de regressão linear e positivamente inclinada. Desta forma, o modelo indica que o aumento da renda *per capita* tem tido um efeito positivo sobre as emissões de CO<sub>2</sub> do país.

**Tabela 2 – Função de Regressão Estimada para Emissões de CO<sub>2</sub> per capita**

<b>CO<sub>2</sub>/cap<sub>t</sub></b>	<b>=</b>	<b>0,000053 Y<sub>t</sub> + <math>\mu_t</math></b>
<b><u>Desv. Padrão:</u></b>		<b>(0,00000689)</b>
<b><u>I.C. 95%:</u></b>		<b>(± 0,0000141)</b>
<b><u>Estat.- t:</u></b>		<b>(7,64)</b>
<b><u>P-valor:</u></b>		<b>(0,000)</b>

$$\mu_t = 0,94 \mu_{t-1} + \varepsilon_t$$

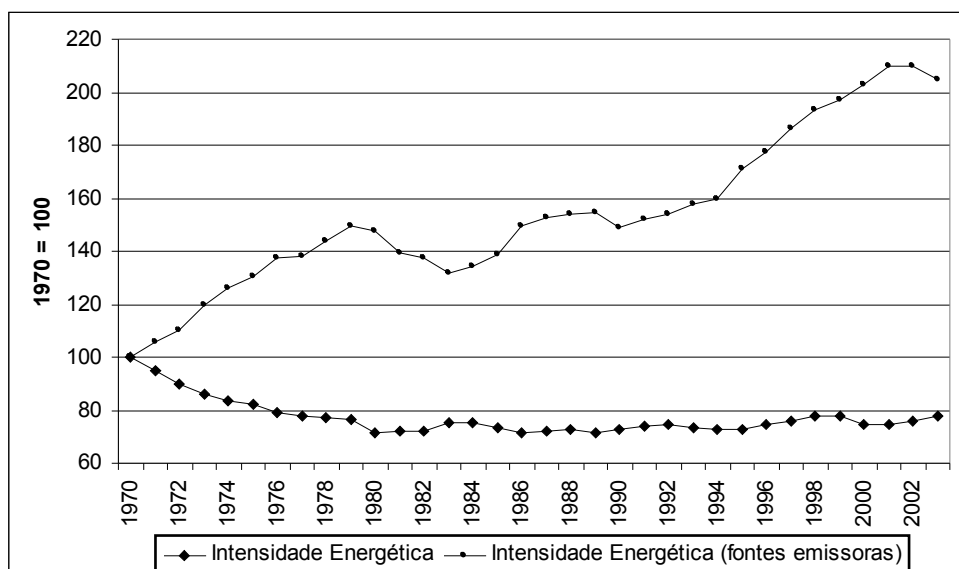
<b><u>Desv. Padrão:</u></b>	<b>(0,019)</b>
<b><u>I.C. 95%:</u></b>	<b>(± 0,038760)</b>
<b><u>Estat.- t:</u></b>	<b>(49,16)</b>
<b><u>P-valor:</u></b>	<b>(0,000)</b>

**R<sup>2</sup>: 0,95**

**Estatística Durbin-Watson: 1,7291 (ausência de correlação)**

Comparando os resultados para consumo energético e para as emissões de CO<sub>2</sub> proveniente deste, observa-se que os formatos das funções de regressão estimadas são distintos. Embora a equação estimada para energia mostre que, por habitante, o consumo energético marginal é decrescente quando a renda aumenta – i.e. cada incremento na renda *per capita* gera um incremento no consumo energético por habitante cada vez menor – as emissões de CO<sub>2</sub> por habitante não seguem o mesmo padrão. Ao contrário, a função de regressão estimada indica que as emissões desse poluente têm crescido linearmente junto com a renda. Em outras palavras, embora tenha se usado menos energia por habitante conforme a renda desse aumenta – o que corresponderia a um estágio intermediário da CKA, antes da inflexão – a energia utilizada é cada vez mais suja em termos de CO<sub>2</sub>. Pode-se observar, com base na Figura 4, abaixo, que, de fato, enquanto a intensidade energética do PIB brasileiro – definido como consumo energético final (tep) / PIB (R\$ de 2003) – caiu ao longo da década de 1970 para se estabilizar nos anos seguintes, considerando apenas as fontes emissoras, houve um aumento de 104% na intensidade energética brasileira.

**Figura 4 – Intensidade Energética Brasileira – Consumo Energético Final VS. Consumo Energético Final de Fontes Emissoras**



Fonte: Lucena (2005).

## 5. Conclusões

Conciliar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade ecológica é um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade. Os custos das agressões ao meio ambiente não se restringem à perda da satisfação criada por “amenidades” ambientais. Eles incluem, também, riscos à própria saúde humana, além de reduções na produtividade econômica que, por sua vez, pode comprometer o desenvolvimento de gerações futuras.

A Hipótese da CKA prevê que, ao longo do desenvolvimento econômico, a pressão exercida sobre o meio ambiente segue o formato de um “U-invertido”, crescendo inicialmente para, depois de um ponto de inflexão, cair nos estágios mais avançados de desenvolvimento. Esse “descolamento” ocorre em função de melhoras tecnológicas e mudanças na composição da produção, além de outros fatores, como uma elasticidade renda positiva para qualidade ambiental, maior conscientização da população sobre as consequências das atividades produtivas sobre o meio ambiente e maior rigidez na regulação ambiental.

A confirmação dessa hipótese significa que é factível conciliar o sistema econômico vigente com a preservação do meio ambiente, contanto que algumas condições sejam preenchidas. Entretanto, os resultados empíricos encontrados na literatura estão sujeitos a diversas críticas. Especificamente, não é possível afirmar que a trajetória seguida pelos países de renda mais alta seja replicada pelos de baixa renda. Sendo assim, faz-se indispensável a análise de países específicos, objetivo deste estudo.

Com base nos resultados apresentados e suas limitações, a resposta à questão de se a CKA se aplica ao caso brasileiro não é conclusiva. No caso de CO<sub>2</sub>, as evidências encontradas não apóiam o formato de “U-invertido” e, sim, uma reta positivamente inclinada. Isso, contudo, não descarta a possibilidade do país estar ainda nos primeiros estágios da CKA para essa variável. Para consumo energético per capita, embora as evidências apontem que o país está seguindo na direção prevista pela Hipótese da CKA, existem diversos fatores de incerteza que impedem fazer inferências sobre o comportamento futuro da relação investigada<sup>15</sup>.

Dentre esses fatores encontram-se, especialmente para este estudo, limitações relacionadas ao número pequeno de observações, ao viés gerado pela escolha das variáveis – e da quebra estrutural – e o comportamento irregular das séries temporais.

Não obstante, essa conclusão tem implicações importantes para a questão ambiental/energética no Brasil. A primeira diz respeito ao resultado de que, embora tenha havido uma estabilização da relação entre renda e consumo de energia final, as emissões de CO<sub>2</sub> têm crescido com a renda. O Brasil tem contribuído para o problema do aquecimento global, já que seu processo de desenvolvimento tem feito com que se emita mais desse gás de efeito estufa no país. No ímpeto de colaborar com a solução desse problema de escala mundial, o Brasil teria que reverter essa tendência priorizando o uso de fontes não emissoras.

Outra implicação se refere à especialização comercial brasileira, que enfatiza produtos que têm grande peso sobre o meio ambiente e possuem baixo valor agregado. O desempenho das exportações, em valor, não tem sido tão dinâmico quanto em quantum, devido à evolução dos preços internacionais, desfavorável aos produtos brasileiros (Miranda, 2001). O Brasil precisa agregar valor à sua pauta de exportação, de forma a ganhar não no volume (que é diretamente ligado ao consumo de materiais e energia e à

geração de rejeitos), mas, sim, na qualidade de seus produtos. Isso não só ajudaria a diminuir a intensidade energética de suas exportações como, também, a resolver a vulnerabilidade externa do país.

Por fim, ainda que não seja possível afirmar que ocorrerá o descolamento através da evidência apresentada neste trabalho, há indícios de que o país está no caminho certo. Isso, entretanto, não garante que o descolamento ocorrerá espontaneamente, como resultado do crescimento econômico. Portanto, cabe, aqui, enfatizar a importância de políticas de conservação de energia e de incentivos a melhoras técnicas na produção. Além dessas, considerando outras dimensões não contempladas por este estudo, políticas de proteção ambiental também são fundamentais para que o Brasil caminhe na direção de um desenvolvimento compatível com o meio ambiente.

### **Referências Bibliográficas**

- ARROW, K., BOLIN, B., COSTANZA, R., DASGUPTA, P., FOLKE, C., HOLLING, C. S., JANSON, B. O., LEVIN, S., MÄLER, K. G., PERRINGS, C. A., PIMENTAL, D., 1995, “Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment”, *Ecological Economics*, 15, pp. 91-95.
- CAVALCANTI, M. A. F. H., RIBEIRO, F. J., 1998, *As Exportações Brasileiras no Período 1977/96: Desempenho e Determinantes*. Rio de Janeiro: IPEA (texto de discussão, No 545).
- COLE, M. A., 2004, “Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages”, *Ecological Economics*, v. 48, pp. 71 – 81.
- DE BRUYN, S. M., VAN DER BERGH, J. C. J. M., OPSCHOOR, J. B., 1998, “Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of the environmental Kuznets curves”, *Ecological Economics*, v. 25, pp. 161 – 175.
- DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.

- GONÇALVES, R., 2001, “Competitividade Internacional e Integração Regional: a Hipótese da Inserção Regressiva”, *Revista de Economia Contemporânea*, 5 (especial), pp. 13-34.
- GROSSMAN, G. M. e KRUEGER, A. B., 1991, “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, *National Bureau of Economic Research Working Paper* 3914, NBER, Cambridge, MA.
- GROSSMAN, G. M. e KRUEGER, A. B., 1995, “Economic Growth and the Environment”, *The Quarterly Journal of Economics*, v. 110, n. 2, pp. 353 – 377.
- IPEA, 2005, IPEADATA, Dados Macroeconômicos e Regionais, Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: janeiro, 2005.
- KENNEDY, P., 1998, *A Guide to Econometrics*, 4th Edition. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- KUZNETS, S., 1955, “Economic Growth and Income Inequality”, *American Economic Review*, 49, pp. 1 – 28.
- LUCENA, A. F. P., 2005, *Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental Aplicada ao Uso de Energia e Suas Implicações para as Emissões de Carbono no Brasil*. Dissertação de M.Sc. PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MACHADO, G. V., 2002, *Meio Ambiente e Comércio Exterior: Impactos da Especialização Comercial Brasileira sobre o Uso de Energia e as Emissões de Carbono do País*. Tese de D.Sc. PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MIRANDA, J. C., 2001, *Abertura Comercial, Reestruturação Industrial e Exportações Brasileiras na Década de 1990*. Brasília: IPEA (texto de discussão, No 829).
- MME, 2004, *Balanço Energético Nacional 2004*, Brasília: Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Energia.
- MOREIRA, M. M., CORREIA, P. G., 1997, “Abertura Comercial e Indústria: o que se pode esperar e o que se vem obtendo”, *Revista de economia Política*, 17 (2), pp. 61-91.
- PEREIRA, T., CARVALHO, A., 1998, *Abertura Comercial, mark ups Setoriais Domésticos e rentabilidade Relativa das Exportações*. Brasília: IPEA.

- PINHEIRO, A., C., GIAMBIAGI, F., MOREIRA, M., M., 2001, *O Brasil na Década de 90: Uma Transição Bem-Sucedida?* Rio de Janeiro: BNDES (texto para discussão, No 91).
- RICUPERO, R., 2000, “Há Futuro para o Comércio Exterior Brasileiro?”, *Revista Brasileira de Comércio Exterior*, 62 (1).
- ROCA, J., ALCÁNTARA, V., 2001, “Energy intensity, CO<sub>2</sub> emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case”, *Energy Policy*, v. 29, pp. 553-556.
- SELDEN, T. M., SONG, D., 1994, “Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 27, pp. 147 – 162.
- SHAFIK, N., BANDYOPADHYAY, S., 1992, “Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross Country-Evidence”, *World Bank Policy Research Working Paper*, WPS 904.
- STERN, D. I., COMMON, M. S., BARBIER, E. B., 1996, “Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development”, *World Development*, v. 24, pp. 1151 – 1160.
- STERN, D. I., 2004, “The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve”, *World Development*, v. 32, n. 8, pp. 1419 – 1439.
- SURI, V., CHAPMAN, D., 1998, “Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve”, *Ecological Economics*, v. 25, pp. 195 – 208.
- UNRUH, G. C., MOOMAW, W. R., 1998, “An alternative analysis of apparent EKC-type transitions”, *Ecological Economics*, v. 25, pp. 221 – 229.
- WONNACOTT, T., WONNACOTT, R. J., 1990, *Introductory Statistics for Business and Economics*, 4<sup>th</sup> Edition, New York, John Wiley & Sons.



<sup>1</sup> Este artigo é uma versão reduzida de um trabalho mais amplo (Lucena, 2005).

<sup>2</sup> Para uma resenha desses estudos ver: Dinda (2004) e Lucena (2005).

<sup>3</sup> Até mesmo para os autores que primeiro investigaram a Hipótese da CKA, não existe nada de automático no processo de descolamento. Pelo contrário, eles afirmam: "... a ligação mais forte entre renda e poluição é, de fato, através da resposta induzida de políticas" (Grossman e Krueger, 1995, pág. 372 – Tradução Própria).

<sup>4</sup> Para proponentes de uma concepção alternativa, a economia ecológica, o desenvolvimento sustentável não seria um estágio do desenvolvimento econômico, mas, sim, uma categoria de desenvolvimento à parte, voltada para a sustentabilidade econômico-ecológica. Uma revisão do debate entre essas duas alternativas teóricas pode ser vista em Machado (2002).

<sup>5</sup> Para uma resenha desses estudos ver: Dinda (2004) e Lucena (2005).

<sup>6</sup> Fonte: MME, 2004.

<sup>7</sup> Roca e Alcântara (2001) distinguem dois sentidos para a Hipótese da CKA: fraco e forte. No primeiro, analisam-se os impactos ambientais normalizados pela população ou pelo produto, valendo-se, então, de uma medida de intensidade. No segundo, o impacto ambiental é medido em termos absolutos, refletindo sua real magnitude. Neste trabalho, será verificada a hipótese fraca.

<sup>8</sup> Fonte: IPEA, 2005.

<sup>9</sup> Fonte: IPEA, 2005.

<sup>10</sup> Para referências sobre esse processo ver: Miranda (2001), Pinheiro *et al.* (2001).

<sup>11</sup> Número próximo daquele imposto pelo teorema central do limite para a existência de uma distribuição de probabilidade normal, hipótese básica da análise de regressão (Wonnacott e Wonnacott, 1990, Kennedy, 1998).

<sup>12</sup> A estimação em MQG supõe que os resíduos possuem autocorrelação de primeira ordem.

<sup>13</sup> O efeito escala é aquele gerado pelo aumento de produção; o efeito composição refere-se às variações estruturais dentro da economia, que podem reforçar tanto setores intensivos em recursos e poluição quanto os setores "limpos"; o efeito técnico diz respeito aos avanços tecnológicos na produção e no controle de poluição.

<sup>14</sup> Esse resultado vai de encontro à conclusão de estudos mais aprofundados sobre o assunto (Moreira e Correa, 1997; Pereira e Carvalho, 1998; Cavalcanti e Ribeiro, 1998; Ricupero, 2000; Gonçalves, 2001; Miranda, 2001; Machado, 2002).

<sup>15</sup> Diferentemente do caso em que o país já teria ultrapassado o ponto de inflexão estimado.