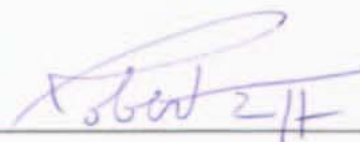


ESTIMATIVA DE UMA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL APLICADA AO
USO DE ENERGIA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA AS EMISSÕES DE CARBONO
NO BRASIL

André Frossard Pereira de Lucena

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:



Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.



Prof. Giovani Vitória Machado, D.Sc.



Prof. Ronaldo Seroa da Motta, D.Sc.



Prof. Reinaldo Castro Souza, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO DE 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

LUCENA, ANDRÉ FORSSARD PEREIRA
DE

Estimativa de uma Curva de Kuznets
Ambiental Aplicada ao Uso de Energia e suas
Implicações para as Emissões de Carbono no
Brasil [Rio de Janeiro] 2005

VIII, 124 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc. Planejamento Energético, 2005)

Dissertação – Universidade Federal do
Rio de Janeiro, COPPE

1. Curva de Kuznets Ambiental
2. Consumo Energético
3. Emissões de CO₂

I. COPPE/UFRJ II. Título (série).

Para Beba, querido sobrinho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos Professores Roberto Schaeffer e Giovani Machado pela orientação e apoio.

Sou especialmente grato ao professor Luiz Fernando Legey pela ajuda, sem a qual não seria possível a conclusão deste trabalho, além das longas, e sempre muito interessantes, conversas.

Agradeço aos professores Ronaldo Seroa da Motta e Reinaldo Castro Souza por aceitarem fazer parte da banca examinadora desta dissertação.

Agradeço a meus familiares pelo apoio, estímulo e por tudo que sou. Agradeço, em especial, a minha mãe, Letícia, pela revisão deste trabalho.

Agradeço a meus amigos: Luciano Morse pelas longas conversas e pelo estímulo a realização dessa dissertação; Thyeres Machado, pelos desabafos; Lucas, Felipe, João e Leo pela válvula de escape; muitos e muitos outros sem os quais a vida não seria a mesma.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTIMATIVIVA DE UMA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL APLICADA AO
USO DE ENERGIA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA AS EMISSÕES DE CARBONO
NO BRASIL

André Frossard Pereira de Lucena

Agosto/2005

Orientadores: Roberto Schaeffer
Giovani Vitória Machado

Programa: Planejamento Energético

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 estima-la, econometricamente, para o Brasil, usando consumo de energia final, assim como as emissões de CO₂ advindas desse, como medida de pressão ambiental. São testadas três especificações, tendo uma delas apontado 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 CO₂, não há sinal de uma CKA.

Abstract of the Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Sciences (M.Sc.)

AN ESTIMATE OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE FOR ENERGY USE
AND IT'S IMPLICATIONS FOR CARBON EMISSIONS IN BRAZIL

André Frossard Pereira de Lucena

August/2005

Advisors: Roberto Schaeffer

Giovani Vitória Machado

Department: Energy Planning

Defenders of the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis claim that environmental pressure first rise in the initial stages of development but, eventually, decreases with an increase in *per capita* income. This relationship would be represented by an inverted “U” function. This work estimates an EKC for Brazil, using final energy consumption, as well as the emissions of CO₂ arising from it, as a measure of environmental pressure. Three specifications are tested and one of them points to a turning point outside the sample range. Therefore, the evidence found suggests that, for *per capita* energy consumption, the country would be in the intermediate stage, before the transition to the descending part of the curve, although it does not suffice to confirm the existence of a relationship such as the EKC for this variable. It is found no evidence of an EKC for emissions of CO₂.

ÍNDICE

CAPÍTULO I – Introdução	1
CAPÍTULO II – Curva de Kuznets Ambiental (CKA): Conceitos, Princípios e Críticas.....	8
II.1 – Conceitos e Princípios da Curva de Kuznets Ambiental: Primeiros Estudos.....	9
II.2 – Críticas às Versões Originais e Interpretações da CKA.....	13
II.3 – Novas Abordagens para a CKA.....	21
CAPÍTULO III – Evolução do Padrão de Consumo Energético Final Brasileiro: 1970 – 2003.....	30
III.1 – Evolução do Consumo Energético Final e sua Relação com o Desenvolvimento Brasileiro no Período 1973 – 2003.....	31
III.2 – Comércio Exterior e sua Influência sobre o Consumo Final de Energia.....	39
CAPÍTULO IV – Metodologia e Procedimentos de Trabalho.....	46
IV.1 – Revisão e Avaliação das Metodologias de Estimativa da CKA.....	47
IV.2 – Análise dos Dados.....	52
IV.3 – Procedimentos de Trabalho.....	62
CAPÍTULO V – Estimativa da CKA para o Brasil: Resultados.....	67
V.1 – Considerações Estatísticas.....	68
V.2 – Apresentação e Avaliação Estatística dos Resultados	71
V.2.1 – Especificações Descartadas.....	72
V.2.2 – Resultados Finais.....	74
V.2.2.1 – Resultado para Consumo Energético.....	76
V.2.2.2 – Resultado para Emissões de Carbono.....	78
V.2.3 – Sumarização dos Resultados Estatísticos.....	80

CAPÍTULO VI – Considerações Finais.....	83
VI.1 – Limitações, Dificuldades Estatísticas e Perspectivas de Desenvolvimentos Futuros.....	84
VI.2 – Conclusões.....	89
Referências Bibliográficas.....	99
<u>APÊNDICE A</u> – Cálculo das Emissões de CO₂	110
<u>APÊNDICE B</u> – Demonstrações Formais.....	115
B.1 – Modelo em Diferenças Generalizadas.....	115
B.2 – <i>Dummies</i> de Intercepto.....	116
<u>APÊNDICE C</u> – Resultados das Estimativas e Testes Estatísticos.....	118
C.1 – Estimativas e Correlogramas para os Resultados Finais de Consumo Final Energético.....	119
C.2 – Estimativas e Correlogramas para os Resultados Finais de Emissões de CO ₂	120
C.3 – Testes Mencionados ao Longo do Capítulo IV e V.....	121

CAPÍTULO I – Introdução

O debate sobre a relação entre o crescimento econômico e o meio ambiente não é exatamente novo e tem ganhado espaço crescente na agenda internacional e nas discussões acadêmicas. Especialistas da área ambiental, já apontavam, na década de 1970, para os efeitos nocivos que o crescimento da atividade econômica poderia ter sobre o meio ambiente (MEADOWS, MEADOWS, RANDERS e BEHRENS, 1972). Em vista das limitações das “fontes” (de recursos naturais) e dos “sumidouros” (de rejeitos) do planeta, a perpetuação do crescimento econômico era posta em cheque.

Embora, inicialmente, tenha-se discutido os limites físicos do crescimento, o debate evoluiu para considerações a respeito das mudanças de comportamento e das opções de política que conciliariam o desenvolvimento do bem-estar humano com as

falhas do mercado relacionadas ao meio ambiente. Percebeu-se que os problemas ambientais encarados por um país relacionavam-se a seu estágio de desenvolvimento, sendo alguns associados à própria pobreza – como falta de saneamento e degradação do solo e de recursos naturais – enquanto outros decorriam do aumento da atividade econômica – como a poluição associada à produção industrial e ao uso de energia (WCED, 1987; IBRD, 1992).

Foi o relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development – WCED), conhecido como *Relatório Brundtland* (WCED, 1987), que primeiro apresentou a possibilidade de se alcançar a sustentabilidade sem que houvesse mudanças significativas no sistema econômico, lançando a idéia de desenvolvimento sustentável (definido como aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras). Passou-se a ver no desenvolvimento – entendido como crescimento econômico – uma saída para os problemas ambientais, principalmente para aqueles ligados à pobreza, no momento em que foram identificadas sinergias entre o crescimento econômico e melhoras 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. Sendo assim, 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 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 de quando 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).

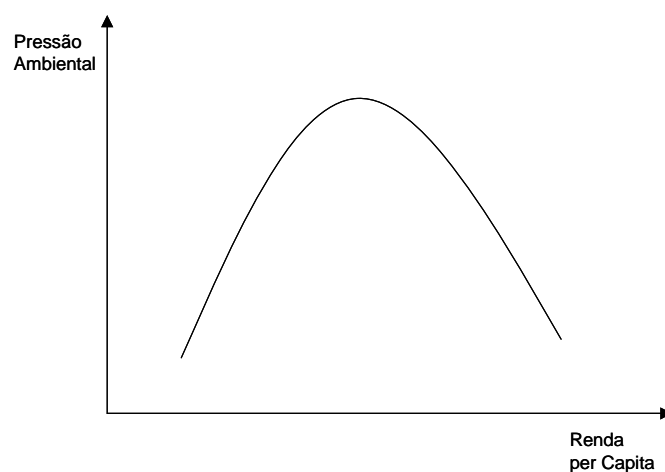
A CKA é representada graficamente por uma medida de pressão ambiental como uma função na forma de “U” invertido da renda *per capita*, como mostra a Figura I.1. Sendo o primeiro estágio a parte ascendente da curva, o terceiro a parte descendente e o segundo o período de estabilização entre os dois. Diversos estudos estimaram essa curva econometricamente¹, 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.

Os fatores responsáveis para o formato descrito pela CKA identificados na literatura são vários. A inversão da trajetória positivamente inclinada para uma

¹ Uma resenha desses estudos é feita no Capítulo II.

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 conseqüências 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 apontadas 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.

Figura I.1 - CKA



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 Portos de Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*)². 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. Se isso for verdade, para que a trajetória da CKA seja seguida pelos países em desenvolvimento, 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, ela tem fortes implicações no que diz respeito ao alcance do desenvolvimento sustentável, pois esse seria alcançado depois de um certo nível de renda³. Assim, os objetivos ambientais estariam garantidos 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.

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 que está sujeito a uma série de críticas. No escopo do que será testado neste trabalho, duas

² Para maiores referências sobre essa hipótese ver: Birdsall e Wheeler (1993), Jaffe *et al.* (1995), Janicke *et al.* (1997), Mani e Wheeler (1998).

³ 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 econômica-ecológica. Uma revisão do debate entre essas duas alternativas teóricas pode ser vista em Machado, 2002.

críticas específicas são pertinentes⁴. 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 Portos de Poluição. A outra, mais relevante para este estudo, é o pressuposto de que a trajetória exibida nos estudos empíricos pode refletir somente aquela seguida por um grupo seletivo de países, não podendo ser generalizada.

Na linha da segunda crítica, o objetivo deste trabalho é estimar, econometricamente com o uso de séries temporais, uma CKA utilizando como medida de pressão ambiental o consumo de energia final para verificar se essa hipótese se aplica ao Brasil.

Dos diversos impactos que as atividades humanas têm sobre o meio ambiente destacam-se aqueles causados pelo uso de energia em suas diversas formas. Embora nem todos os impactos ambientais estejam relacionados ao uso de energia – ainda que grande parte esteja – o uso de energia está sempre ligado a impactos sobre o meio ambiente. As necessidades energéticas criadas pelo desenvolvimento econômico implicam em pressões sobre os recursos naturais e sobre a qualidade ambiental. Portanto, é relevante estudar essa dimensão dos impactos antropogênicos sobre o meio ambiente.

Não existe, para os impactos do uso de energia sobre o meio ambiente, uma série de dados objetivos longa o suficiente para uma investigação em séries temporais, como a proposta neste estudo. Não é possível, desta forma, realizar testes específicos para cada tipo de impacto gerado pelo uso de energia. As emissões de CO₂, entretanto, são facilmente calculadas a partir das informações sobre o consumo energético. Além disso,

⁴ No Capítulo II será feita uma discussão mais completa a respeito das críticas que recaem sobre a CKA.

elas são importantes na análise da influência brasileira sobre o aquecimento global. Será testado, paralelamente, portanto, uma CKA para emissões de carbono com o intuito de observar o comportamento desta com relação ao crescimento da renda no Brasil e comparar com aquele encontrado para consumo energético.

No que se refere à crítica associada à Hipótese dos Portos de Poluição, será investigado, também, o papel do comércio exterior brasileiro na relação entre o desenvolvimento econômico e o consumo energético final.

Na tentativa de cumprir com esses objetivos, o presente estudo está organizado da seguinte maneira: No Capítulo **II**, serão analisados, mais profundamente, a Hipótese da CKA, suas críticas e os estudos que testaram, empiricamente, sua existência. No Capítulo seguinte, são analisados, de um ponto de vista histórico-descritivo, o padrão de consumo energético, o desenvolvimento econômico e o comércio externo no Brasil com o intuito de ambientar o leitor às condições históricas em que ocorre o fenômeno investigado. O Capítulo **IV** apresenta a metodologia a ser utilizada, assim como os dados e os procedimentos de trabalho. Os resultados das estimativas realizadas são apresentados no Capítulo **V**. Por fim, o Capítulo **VI** discorre sobre as limitações deste estudo e as perspectivas de desenvolvimento futuro, além apresentar as conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO II – Curva de Kuznets Ambiental (CKA): Conceitos, Princípios e Críticas

Com o objetivo de rever a literatura a respeito da hipótese da CKA, esse capítulo está estruturado da seguinte forma: na primeira seção será explanado o tema assim como os primeiros estudos a seu respeito; na seção seguinte, serão apresentadas as críticas teóricas e metodológicas envolvendo a hipótese da CKA; na terceira seção, serão apresentadas novas abordagens para a CKA que tentam contornar os problemas tanto teóricos quanto metodológicos.

II.1 – Conceitos e Princípios da Curva de Kuznets Ambiental: Primeiros Estudos

A CKA é uma hipótese acerca da relação entre indicadores de degradação ambiental e a renda per capita. Segundo ela, nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico, a degradação ambiental e a poluição aumentariam juntos com a renda per capita. Contudo, após um certo nível de renda (a partir de agora chamado de “ponto de inflexão”; em inglês, *turning point*), que varia de acordo com os indicadores estudados, essa tendência se reverteria de tal forma que a qualidade ambiental melhoraria com o crescimento econômico. Tal efeito foi denominado por alguns autores como “descolamento” (*de-linking*) entre a atividade econômica e pressão ambiental (Simonis, 1989; IBRD, 1992). Isso implica que o impacto ambiental é uma função na forma de “U” invertido da renda per capita, como foi mostrado na Figura I.1.

O primeiro trabalho a identificar o formato de “U” invertido para os impactos ambientais foi o estudo de Grossman e Krueger (1991) sobre os impactos ambientais potenciais do NAFTA (*North American Free Trade Agreement*). Porém, o conceito foi popularizado pelo relatório do Banco Mundial *World Bank Development Report* (IBRD, 1992). Outros trabalhos também marcaram a literatura, como o de Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994) e Grossman e Krueger (1995).

Grossman e Krueger (1991) estimaram econometricamente a CKA para alguns indicadores de poluição do ar (SO₂, material particulado e fumaça negra) como parte de um estudo para avaliar os potenciais impactos da abertura comercial decorrente do NAFTA sobre o meio ambiente. Utilizando dados do *Global Environmental Monitoring*

System (GEMS), foram feitas regressões com variáveis em nível que incluíam um termo quadrático e um cúbico para testar a possibilidade de uma nova inflexão na relação renda-poliuição. Foram incluídas, também, variáveis relacionadas à localidade, intensidade de comércio e uma tendência temporal. Seus resultados apontam que, para os indicadores, o ponto de inflexão estaria em níveis de renda entre US\$4.000 – US\$5.000, sendo que para material particulado o valor seria até menor. Em níveis de renda superiores a US\$10.000 – US\$15.000, as estimativas apontam para um novo crescimento dos indicadores de poluição.

Os resultados utilizados pelo *World Bank Development Report* (IBRD, 1992) foram aqueles achados por Shafik e Bandyopadhyay (1992). Eles estimaram a CKA para 10 indicadores ambientais usando diferentes formas funcionais. Seus achados variam de acordo com o indicador. No caso de falta de água potável e falta de saneamento urbano, a relação é estritamente negativa – i.e. tais variáveis sempre diminuem quando sobe a renda. As medidas usadas para desmatamento não mostraram qualquer significância estatística com relação à renda. Qualidade da água nos rios tendeu a piorar com aumentos de renda. Da mesma forma, lixo municipal e emissões de CO₂ per capita apresentaram uma relação monotônica crescente com a renda. No entanto, para os outros indicadores de qualidade do ar foram achados resultados coincidentes com a hipótese da CKA, com pontos de inflexão da ordem de US\$3.000 – US\$4.000.

A pesquisa de Selden e Song (1994) buscou identificar a CKA para emissões agregadas, ao contrário de Grossman e Krueger (1991), que a estimaram para poluição atmosférica urbana. Usando os indicadores para SO₂, CO, NO_x e material particulado, eles

mostram que as emissões agregadas têm o ponto de inflexão em um nível de renda mais alto do que o para qualidade do ar nas cidades – para qualquer indicador, o valor excedia US\$8.000. As razões para tal diferença foram atribuídas, pelos autores, a: o fato de a qualidade do ar nas cidades ser de importância mais imediata em termos de saúde pública; custos menores para a melhora da qualidade do ar urbana quando comparados aos de reduzir as emissões agregadas; o aumento do valor dos aluguéis em terreno urbano gerado pelo desenvolvimento econômico, que forçaria as empresas a se mudar das cidades; finalmente, a renda maior nas cidades, que faz com que seus habitantes tenham maiores poderes políticos. Por fim, os autores utilizam seus resultados para traçar cenários para a evolução das emissões globais. No mais otimista, deve-se esperar um aumento acelerado das emissões globais até o fim da primeira metade do século XXI. Somente no final deste século os níveis de emissão retornariam aos níveis atuais.

Em um outro artigo, Grossman e Krueger (1995) fazem um estudo mais amplo na tentativa de incluir todas as dimensões de qualidade ambiental para as quais houvesse medidas comparáveis entre diferentes países. Utilizando novamente dados do GEMS, eles investigam diversos indicadores de qualidade do ar e da água através de equações na forma reduzida relacionando o nível dos indicadores com a renda per capita e outras covariáveis. Seus resultados apontam evidências para a existência de uma CKA para a maioria dos indicadores (com exceção para particulados, cuja relação se mostrou monotonicamente decrescente). Os autores concluem afirmando não achar evidências de que o crescimento econômico inevitavelmente afeta o meio ambiente.

Os estudos retratados até o momento são alguns dos primeiros a ter estudado sistematicamente a CKA. A teoria envolvendo o assunto surgiu da noção de compatibilidade entre o crescimento, principalmente o desenvolvimento de países de renda mais baixa, e proteção ambiental. De fato, o relatório do Banco Mundial *World Bank Development Report* (IBRD, 1992) afirma:

“A visão de que uma atividade econômica maior inevitavelmente fere o meio ambiente é baseada em suposições estáticas a respeito dos avanços tecnológicos, das preferências e dos investimentos em meio ambiente” ... ”Conforme a renda aumenta, a demanda por melhoras na qualidade ambiental aumentará, assim como os recursos disponíveis para investimento.” (IBRD, 1992, págs. 38 e 39 – Tradução Própria)

Beckerman (1992) faz um depoimento ainda mais forte:

“Existe evidência clara de que, embora o crescimento econômico normalmente leve à degradação ambiental nos estágios iniciais do processo, no fim, o melhor – e provavelmente o único – caminho para se obter um meio ambiente decente na maioria dos países é ficando rico.” (Beckerman, 1992, pág. 491 – Tradução Própria)

Talvez mais importante do que os resultados encontrados nos estudos que testam empiricamente a CKA sejam as implicações dessa relação em termos de política ambiental. Grossman e Krueger (1995), no entanto, alertam para o fato de que mesmo para os indicadores que demonstram uma queda após um certo nível de renda, nada garante que tal processo seja automático. Portanto, crescimento econômico por si só não garante a cura

para os problemas relacionados ao meio ambiente. As políticas ambientais apropriadas têm papel fundamental na inversão da trajetória dos poluentes que seguem a CKA. Em suas palavras:

“... 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)

Ademais, os autores enfatizam a possibilidade da trajetória da CKA não ser inequívoca, levantando a possibilidade de os países de renda mais baixa aprenderem com a experiência dos mais ricos e traçar um caminho diferente.

II.2 – Críticas às Versões Originais e Interpretações da CKA

As conclusões dos estudos que apontaram para a existência de uma relação entre medidas de qualidade ambiental e o crescimento econômico, tal qual explicitado pela CKA, foram motivo de diversas críticas, tanto no que diz respeito aos aspectos teóricos por trás dessa relação, quanto à metodologia utilizada nos estudos.

Em vista da falta de consenso sobre o assunto, o atual status da CKA é de uma hipótese (Rothman e De Bruyn, 1998). Apesar disso, alguns autores interpretaram as evidências em favor da CKA – por alguns tidas como estatisticamente fracas (Stern, 1996 e 2004) – como o resultado de que o crescimento é condição necessária para a melhora da qualidade ambiental (Beckerman, 1992). Essa seção levanta alguns pontos interessantes que ressaltam a necessidade de cuidado ao interpretar os resultados achados em favor da

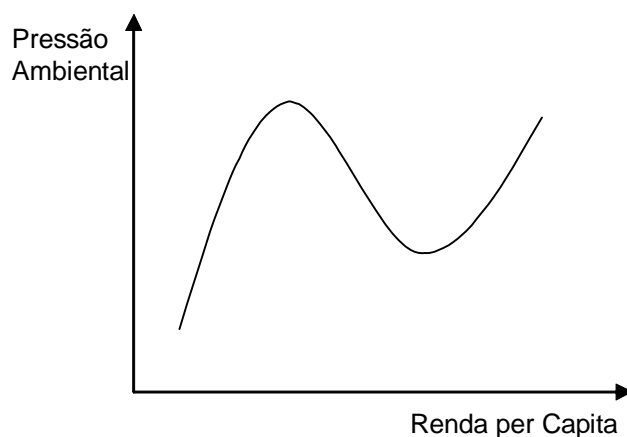
CKA e também da necessidade de novos estudos que enfatizem aspectos dinâmicos e as características individuais de cada país.

Primeiramente, deve-se considerar que a CKA só foi encontrada para alguns tipos de poluentes, em especial emissões de SO_x , NO_x e outras medidas de qualidade do ar que têm impactos predominantemente locais e possuem baixos custos de controle. Seria, portanto, uma generalização equivocada supor que as demais dimensões de qualidade ambiental também sigam o mesmo padrão. Poluentes que envolvem custos ambientais dispersos e de longo prazo (por exemplo, CO_2) não apresentam a trajetória da CKA, ao contrário, tendem a crescer monotonicamente com a renda (Holtz-Eaking e Selden, 1995; Robers e Grimes, 1997; Dinda, 2001). Para Stern (2004), a atividade econômica inevitavelmente afeta o meio ambiente. O que se observa é uma mudança nas formas de poluição daquelas retratadas na CKA para outras, como dióxido de carbono e resíduos sólidos.

Além disso, dada a natureza cumulativa de certos poluentes, somente as emissões podem não representar os reais impactos ambientais (Rothman e De Bruyn, 1998). De Bruyn *et al.* (1998) também ressaltam o fato de que os estudos sobre CKA não consideram a capacidade de assimilação do meio ambiente nem as características dos ecossistemas, o que é crucial para a análise da sustentabilidade do crescimento econômico. Estes estudos tampouco levam em conta a interação bilateral entre desenvolvimento e qualidade ambiental, descartando a possibilidade da pressão econômica sobre o meio ambiente gerar entraves para o crescimento (Stern, 2004).

Alguns autores acreditam que a CKA não se sustenta no longo prazo (De Bruyn *et al.*, 1998; Dinda *et al.*, 2000). Segundo eles, o formato de “U invertido” seria apenas um estágio inicial da relação entre crescimento econômico e pressão ambiental. Após um certo nível de renda, haveria um novo ponto de inflexão que tornaria a trajetória novamente ascendente. O formato da CKA seria similar ao de um “N” (Figura II.1), sugerindo um re-casamento (*re-linking hypothesis*) do crescimento com os impactos sobre o meio ambiente (De Bruyn e Opschoor, 1997; Sengupta, 1997). Opschoor (1990) sugere que isso ocorreria quando as possibilidades de melhora na eficiência tecnológica fossem exauridas, ou quando seus custos se tornassem altos demais.

Figura II.1



A ênfase na correlação da degradação ambiental com o crescimento econômico pressupõe um “determinismo da renda”, em relação ao qual alguns autores, como Unruh e Moomaw (1998), são céticos. Em seu artigo, eles mostram evidências que, em vários casos, a metodologia da CKA não está captando o efeito da renda e, sim, respostas a

eventos exógenos que coincidem com este. Assim sendo, caso esse determinismo não exista, deve-se ater aos fatores que levaram à queda dos níveis de poluição nos países desenvolvidos e tentar usá-los para conseguir níveis de qualidade ambiental melhores, independentemente da renda.

Mesmo sendo a renda a variável chave para explicar as pressões sobre o meio ambiente, deve-se ter cuidado com a medida utilizada. Alguns estudos apresentam pontos de inflexão que giram em torno da renda média mundial. É de se esperar, portanto, que a qualidade ambiental vá melhorar a partir desse momento. Entretanto, como lembram Stern *et al.* (1996), previsões baseadas na CKA supõem que a renda mundial é normalmente distribuída. Ao contrário, a renda média mundial está muito acima da renda mediana⁵. Seria apropriado utilizar, portanto, a segunda medida para realizar previsões sobre a evolução do nível de poluição global.

Os modelos normalmente utilizados para avaliar a existência de um padrão similar ao da CKA se baseiam em dados seccionais ou dados de painel⁶ limitados por um curto intervalo de tempo. Tais modelos de uma equação em forma reduzida não permitem afirmar se existe um processo determinístico ao qual todos os países estão sujeitos ou se o modelo simplesmente descreve os estágios de desenvolvimento vivenciados por um grupo seleto de países (Unruh e Moomaw, 1998)⁷. Desta forma, não há como inferir que todos

⁵ O que significa que há mais países com renda abaixo da média do que países acima. Stern *et al.* (1996) chegam a afirmar que o nível de renda onde a poluição começa a cair não é alcançável pela maioria dos países.

⁶ Dados de painel consistem em variações de dados seccionais (um conjunto observado em determinado instante) ao longo do tempo.

⁷ Isso pode ocorrer, principalmente, no caso em que os países em desenvolvimento estão subrepresentados na amostra, como é o caso do estudo de Selden e Song (1994).

os países irão repetir a experiência das nações mais avançadas quando, ironicamente, a suposição básica para a CKA é que todas as nações seguem os mesmos estágios na relação desenvolvimento-meio ambiente (Dinda, 2004). Faz-se necessária, portanto, uma análise dinâmica – através de séries temporais, por exemplo – para cada país individualmente, considerando características particulares como dotação de recursos, infraestrutura, etc.

Uma outra limitação dos modelos de equação única na forma reduzida que utilizam a renda como variável principal é que eles não fornecem explicações para as causas por trás da relação estudada (De Bruyn *et al.*, 1998; Dinda, 2004). Selden e Song (1994) relacionaram possíveis causas para o formato da CKA, já mencionadas anteriormente. No entanto, os fatores por trás da relação por eles encontrada não estão explicitados em sua metodologia. Os modelos utilizados na grande maioria dos estudos não fornecem base para concluir se a CKA é resultado de mudanças autônomas na estrutura econômica e na tecnologia ou se ela deriva de políticas ambientais (por exemplo) ambiciosas que independem da renda (De Bruyn *et al.*, 1998). Isso é particularmente relevante na formulação de políticas.

Sendo a CKA um resultado empírico (Stern, 2004; Unruh e Moomaw, 1998), sua validade está sujeita a fatores tais quais: limitações quanto à disponibilidade, comparabilidade e objetividade dos dados; vieses relacionados à escolha (ou omissão) das variáveis explicativas e da forma funcional; limitações quanto à capacidade de explicação do modelo; problemas quanto à estacionariedade das séries, entre outros.

A decomposição dos efeitos que regem a relação entre o crescimento econômico e qualidade ambiental proposta por Grossman e Krueger (1991) é bastante útil para analisar as causas por trás da CKA. São eles: efeito escala, efeito composição e efeito técnico⁸. É de se esperar que a pressão sobre o meio ambiente aumente conforme haja um aumento de produção (efeito escala). Essa maior pressão, porém, pode ser anulada pelo resultado dos outros dois efeitos. Pode ser que o crescimento econômico se dê primordialmente em setores que poluem pouco (efeito composição) ou que os avanços tecnológicos na produção compensem o nível de produto maior (efeito técnico). Portanto, não há motivos, *a priori*, para a qualidade ambiental piorar com o crescimento econômico (Torras e Boyce, 1998). Para Stern (2004), nos países industrializados, onde a taxa de crescimento econômico é baixa, o efeito escala pode ser compensado pelos outros dois efeitos. Isso não ocorre, entretanto, nos países em desenvolvimento, onde as taxas de crescimento são mais altas. Nesses países, os efeitos técnicos e composição não conseguem se sobressair ao efeito escala. Esta seria a origem da relação observada que deu origem à CKA.

O efeito composição supõe uma mudança na estrutura produtiva de uma economia. Tal mudança, que acompanharia o desenvolvimento das nações, diminuiria a intensidade de poluição marginal da produção⁹, uma vez que a participação dos setores intensivos em recursos e poluição – como a indústria – cairia em relação àqueles setores menos poluidores – como serviços. Sendo assim, o efeito composição é tido como um dos fatores que podem dar sentido ao comportamento observado nos estudos que avaliam a CKA.

⁸ Machado e Schaeffer (1995) identificam esse, num sentido mais amplo, como efeito intensidade, que engloba mudanças nas fontes de energia, modificações técnicas e alterações no valor econômico dos produtos produzidos.

⁹ i.e. para cada incremento de produto, a quantidade de poluição gerada é menor do que a que foi gerada nos níveis mais baixos de produção.

Torras e Boyce (1998), no entanto, argumentam que a mudança na composição da produção não é suficiente para compensar o efeito escala de forma a criar uma trajetória similar à CKA. Desconsiderando o efeito técnico, por hora, isso só seria possível se os setores intensivos em poluição encolhessem em termos absolutos – o que implicaria que os bens produzidos por eles fossem inferiores (i.e. cuja demanda cai conforme a renda aumenta) – ou se sua produção fosse substituída por importações. Sendo a primeira opção improvável, o que se observa no efeito composição é apenas o deslocamento das atividades nocivas ao meio ambiente para outros países.

Por esse motivo, o comércio internacional tem sido encarado como uma explicação para as evidências empíricas em favor da CKA. Ele permite a separação geográfica entre as atividades de produção e de consumo, fazendo com que os consumidores não sofram as externalidades ambientais decorrentes da produção (Machado, 2002). Então, deve-se ater ao fato de que o efeito composição, que tem sido usado para explicar a CKA, pode ser meramente o deslocamento das indústrias poluentes para os países nos estágios iniciais de desenvolvimento (Arrow *et al.* 1995; Rothman, 1998; Suri e Chapman, 1998; Stern *et al.*, 1996). Tal resultado está relacionado à Hipótese dos Portos de Poluição. Segundo Cole (2004), se essa hipótese é verdadeira, então a CKA não existe. Ela representa apenas uma transferência de poluição entre nações de alta renda para nações mais pobres, o que, por sua vez, impede que a trajetória de desligamento entre crescimento e impacto ambiental seja replicada pelos países em desenvolvimento.

Uma variável chave, portanto, para a existência da CKA é o avanço da tecnologia voltada à economia de recursos e energia e à redução na geração de rejeitos. Contudo,

nada garante que tal efeito técnico seja a solução para todos os problemas ambientais. Não há porque acreditar que o enorme avanço tecnológico recente continue progredindo à mesma taxa das últimas décadas (Dinda, 2004). Conforme as melhoras em eficiência no uso de recursos e energia ou em prevenção de poluição vão se esgotando ou se tornando muito custosas, mais crescimento econômico resultará em maior degradação ambiental (Opschoor, 1990). Pasche (2002) mostra que, sob suposições realistas a respeito do progresso técnico, uma taxa de crescimento sustentável deixa de existir. Ele argumenta que uma parcela cada vez maior da renda deve ser investida em tecnologia para poder compensar as pressões ambientais derivadas do crescimento econômico. Esses argumentos geram um entrave à existência de uma CKA no longo prazo, o que põe em cheque a própria idéia de crescimento sustentável.

As questões teóricas e metodológicas levantadas na literatura ressaltam o cuidado que se deve ter ao utilizar a CKA como instrumento de política ambiental. Ainda assim, a teoria em torno da hipótese da CKA pode fornecer importantes considerações para o desenvolvimento dos países, ao contrário de se limitar ao campo da estatística descritiva, como defende Stern (2004). Diversos estudos refinaram seus resultados com base nas críticas levantadas sobre a hipótese da CKA ou expandiram suas investigações para novas variáveis, na tentativa de captar a verdadeira relação entre crescimento econômico e degradação ambiental. Esse será o assunto da próxima seção.

II.3 – Novas Abordagens para a CKA

Estudos posteriores às primeiras tentativas de avaliar a hipótese da CKA expandiram a análise ao incorporar novas variáveis nos modelos na forma reduzida, ou ao propor novas abordagens e considerações que dão maior validade aos resultados.

Alguns estudos enfatizaram o papel de novas variáveis explicativas, que não renda, na tentativa de resolver o problema do viés gerado pela omissão de variáveis. A distribuição de renda e variáveis sociais receberam atenção especial de vários pesquisadores. Torras e Boyce (1998), por exemplo, testaram a hipótese de que uma distribuição mais equânime da renda e outros indicadores sociais – mais especificamente, taxa de alfabetização, uma medida de liberdades civis e direitos políticos e grau de urbanização – contribuiriam para a existência de uma CKA para certos poluentes. Por trás dessa hipótese está a noção de que essas novas variáveis medem, de certa forma, o grau de influência sobre as políticas, daqueles a quem incorrem os custos da poluição, relativamente à influência dos que se beneficiam das atividades poluidoras. Seus resultados empíricos confirmam a relação positiva com os indicadores testados, tendo a taxa de alfabetização, liberdades civis e direitos políticos efeitos particularmente fortes sobre a qualidade ambiental nos países de baixa renda. Bimonte (2002) reforça o argumento de que o nível de participação – incorporado por ele em suas estimativas como o coeficiente de Gini¹⁰ e o número de jornais vendidos anualmente a cada 1000 habitantes – é fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável. Para o autor, somente uma

¹⁰ O Coeficiente de Gini mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita. Seu valor varia de 0, quando não há desigualdade (a renda de todos os indivíduos tem o mesmo valor), a 1, quando a desigualdade é máxima (IPEA, 2005).

maior participação pode mudar as preferências sociais na direção de bens públicos em detrimento de bens privados.

Heerink *et al.* (2001) classificam o argumento teórico sobre a relação entre a distribuição de renda e a qualidade ambiental, descrito acima, como argumento da *economia política*. Numa abordagem teórica alternativa, eles defendem que a participação da variável distributiva nos modelos de estimação da CKA é crucial para a remoção do viés de agregação inerente às medidas absolutas de renda. Entretanto, os resultados de suas estimativas para diversos poluentes – utilizando renda domiciliar e coeficiente de Gini como variáveis explicativas numa análise seccional de países – apontam para uma relação oposta àquela encontrada por Torras e Boyce (1998) e Bimonte (2002) entre desigualdade de renda e a maioria das medidas de qualidade ambiental estudadas.

O papel da desigualdade de renda para Magnani (2000 e 2001) está na diferença entre a capacidade de um país pagar por proteção ambiental e sua disposição a fazê-lo. Seus resultados empíricos corroboram com a noção de que outros momentos da renda além da média (especificamente, sua dispersão), são necessários para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Aspectos da renda além da distribuição (entre a população) também foram abordados pela literatura sobre a hipótese da CKA. Kauffmann *et al.* (1998) incluíram em sua análise a intensidade espacial da atividade econômica. Usando a concentração de SO₂ na atmosfera como variável dependente, eles encontraram evidência de uma relação na forma de “U” para a renda, enquanto para a intensidade espacial da atividade econômica o

formato encontrado foi de “U” invertido. Eles concluem que a intensidade da atividade econômica, ao invés da renda, fornece o ímpeto para políticas e tecnologias que reduzem as emissões desse poluente.

No que tange ao desmatamento, diversos estudos buscaram investigar se há uma relação nos moldes da CKA. Shafik e Bandyopadhyay (1992), numa das primeiras investigações sobre a CKA, não acharam qualquer significância estatística para a relação entre renda e desmatamento. Shafik (1994) encontra uma relação fraca na forma de “U” invertido entre renda e perda de cobertura florestal. Os resultados de Heerink, (2001) mostram que a taxa de redução de florestas está mais relacionada, estatisticamente, com a distribuição de renda do que a renda em si. Já Copper e Griffiths (1994) mostram evidências de uma CKA de desmatamento para a África e América Latina, mas não para a Ásia. Bhattarai e Hammig (2001), por sua vez, afirmam que seus resultados apontam para evidências fortes de que uma CKA para desmatamento existe para esses três continentes. Por fim, Koop e Tole (1999) afirmam que seus resultados apontam para a ausência de uma significância estatística regular, conforme variam as especificações metodológicas. A literatura internacional, portanto, é inconclusiva quanto à existência de uma CKA para desmatamento.

Outra medida de pressão ambiental utilizada na análise da hipótese da CKA é o uso de energia, geralmente definido como a intensidade energética ou a energia consumida por habitante. Geralmente, as evidências a favor da CKA são encontradas para problemas ambientais de natureza local e de curto prazo, que são de fácil identificação e solução. Ao investigar poluentes cujos custos de controle são grandes em termos de mudanças nos

hábitos de consumo e cujos efeitos são fáceis de externalizar, como CO₂, por exemplo, essa relação não mais possui evidências empíricas robustas a seu favor. Além disso, a própria análise dos poluentes locais, por ser feita em termos de concentrações em grandes centros, não reflete as emissões totais dessas substâncias¹¹. Sendo o consumo de energia uma das principais fontes de poluentes atmosféricos, analisar uma CKA energética é interessante por ela incorporar outros tipos de pressão sobre o meio ambiente, como descrito acima.

Agras e Chapman (1999) estimaram uma CKA para consumo de energia *per capita* e encontraram evidências do formato de “U” invertido. No entanto, ao incluir o preço da energia entre as variáveis explicativas, a renda perdeu a condição de variável mais relevante e as evidências da existência de uma CKA passaram a não mais ser significantes.

Lenzen *et al.* (2005) tampouco encontram evidências da validade da CKA para energia – no caso consumo doméstico – em um estudo que avalia a questão utilizando dados seccionais para diferentes nações e análises detalhadas para países específicos (Austrália, Brasil, Dinamarca, Índia e Japão). Seus achados concluem que o efeito do crescimento da renda varia consideravelmente entre os países escolhidos, mesmo controlando por aspectos demográficos e socioeconômicos.

Como aponta Rothman (1998), medidas mais relacionadas a consumo - como energia e CO₂ – não exibem o padrão da CKA. Os estudos, em geral, são divergentes, tendo alguns não encontrado evidências de uma transição e outros identificando pontos de

¹¹ Uma exceção a isso é o trabalho de Selden e Song, 1994.

inflexão para níveis de renda fora do universo amostral. O estudo do Banco Mundial (IBDR, 1992) acha evidências de que as emissões de CO₂ *per capita* crescem monotonicamente com a renda. Em contrapartida, Holtz-Eakin e Selden (1995) estimaram pontos de inflexão de US\$35.428 (com uma função quadrática) e US\$8 milhões (função quadrática logarítmica), valores muito acima da renda *per capita* da época¹². Tucker (1995) analisou, dinamicamente, a relação renda/CO₂ para um conjunto de países e encontrou que, entre 1971 e 1991, os coeficientes estimados variaram de maneira contínua de forma que o ponto de inflexão decaía ao longo do tempo. Cole (2004), num estudo mais amplo que incluía outros indicadores, também acha um ponto de inflexão fora da amostra para CO₂, especialmente ao incluir variáveis relacionadas ao comércio de bens manufaturados (ver discussão a seguir).

Como foi levantado na seção anterior, uma das críticas à CKA é que ela pode estar refletindo somente o deslocamento das atividades poluidoras dos países de renda mais alta para aqueles nos estágios menos avançados de desenvolvimento econômico. Desta forma, o comércio internacional é um aspecto que recebeu atenção especial nos estudos sobre a CKA. Já nas primeiras estimativas que levaram à formulação da hipótese da CKA, o comércio foi considerado de alguma forma. Grossman e Krueger (1991) e Shafik e Bandyopadhyay (1992) incluíram a soma das importações e exportações (volume de comércio) como proporção do PIB (Produto Interno Bruto), como uma medida grau de abertura comercial de um país, entre as variáveis explicativas de seus modelos. Suri e Chapman (1998) argumentam que a questão não é analisar a orientação da política comercial (aberta ou fechada) do país e, sim, o fluxo de bens intensivos em poluição entre

¹² Para referência, a renda per capita americana, no mesmo ano, era de US\$26 980 (BCB, 2005).

os países. Com este intuito, os autores colocaram, entre as variáveis explicativas de sua análise de regressão múltipla, a razão entre as importações/exportações de bens manufaturados e a produção doméstica desses bens. As estimativas dessas variáveis dão indícios de que existem fluxos de energia dos países de baixa renda para aqueles de renda mais alta. Seus resultados mostram, também, que o ponto de inflexão achado por eles é substancialmente maior quando comparado ao mesmo estimado sem a introdução das variáveis de comércio. Sendo assim, controlando pelos fluxos comerciais, nenhum país teria alcançado a inflexão, uma vez que estariam sendo levados em consideração os fluxos de bens energo-intensivos dos países de baixa renda para aqueles de renda alta.

Utilizando uma media de eficiência ambiental como variável dependente, Taskin e Zaim (2001) estimam uma CKA onde são introduzidos, além da renda *per capita*, as exportações de bens poluidores como proporção das exportações totais, o grau de abertura comercial¹³ e seu valor ao quadrado e uma *dummy* para composição da exportações. Eles também chegam à conclusão de que as variáveis de comércio são determinantes importantes da eficiência ambiental. Em seus achados, a relação quadrática estimada para o grau de abertura comercial apresenta a forma de “U” invertido característica da CKA, sugerindo que após um certo nível de integração com o comércio internacional, o aumento desta contribui para a melhora na eficiência ambiental, embora o oposto aconteça em níveis baixos de abertura.

Em sua análise da CKA, Cole (2004) aborda, paralelamente, a Hipótese dos Portos de Poluição. Mais especificamente, ele estima uma CKA para 10 indicadores de poluição

¹³ Como definido por Grossman e Krueger (1991).

para uma amostra de países da OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), tentando isolar o efeito da migração de indústrias poluidoras para os países de baixa renda através da inclusão das seguintes variáveis na equação de regressão múltipla: proporção das exportações totais representada pela exportação de bens manufaturados para países fora da OECD; proporção das importações totais representada pela importação de bens manufaturados de países fora da OECD; volume de comércio como proporção do PIB. Para a última, captou-se um efeito negativo, indicando que um aumento na abertura comercial diminui a geração de poluentes. Já os resultados para as duas primeiras apresentam evidências mistas, dependendo da variável dependente. Contudo, os pontos de inflexão estimados para o mesmo modelo, sem que se controle pelo comércio, são mais baixos do que aqueles originalmente estimados. Isso dá indícios de que existe algum efeito relacionado à Hipótese dos Portos de Poluição incorporado nas análises da CKA quando não controladas pelo comércio (resultado que corrobora com aquele de Suri e Chapman, 1998).

Outra crítica pertinente da hipótese da CKA é a suposição sobre a existência de um “determinismo da renda” segundo o qual todos os países seguiriam o mesmo padrão no que tange ao desenvolvimento e sua relação com o meio ambiente. No estudo empírico de Magnani (2001), a autora tenta mostrar que a CKA é o resultado da experiência individual de certos países ao segmentar a amostra em países de renda alta e média/baixa. Ela conclui que os primeiros seriam responsáveis pela parte descendente da curva e os últimos pela parte ascendente. Unruh e Moomaw (1998) também apresentam evidências de que a CKA não é representativa para vários países, levantando a necessidade de se estudar países individualmente.

De fato, o já mencionado estudo de Lenzen *et al.* (2005), ao investigar a dinâmica de cinco países, conclui que eles possuem uma seleção diferente de fatores chave na relação renda e consumo energético familiar para cada país, o que demonstra a importância de circunstâncias específicas de cada país ao analisar essa relação. No caso do Brasil – um dos países estudados –, a investigação realizada através de uma análise de regressão multivariável – que incluía, além de gastos *per capita*, outras variáveis como nível de educação, número de aposentados, grau de densidade populacional, nível de desemprego e idade do chefe de família –, as variáveis mais significativas foram gastos, educação e número de aposentados, tendo, para a primeira, encontrado um valor superior a um. Isso indica que a intensidade energética média residencial cresce devagar, conforme a renda aumenta. Ou seja, esse estudo não acha evidências de uma CKA para requerimento de energia nos domicílios no Brasil.

São poucos os trabalhos que abordam um único país. Num estudo específico para a Áustria, Friedl e Getzner (2003) analisam as emissões de CO₂ e sua relação com o desenvolvimento econômico para testar se a CKA existe para esse país. A estimativa revela que uma relação cúbica (i.e. na forma de “N³”) é a que melhor se encaixa nos dados. Foram identificados uma quebra estrutural gerada pelo primeiro choque do petróleo, além de efeitos associados à Hipótese dos Portos de Poluição. Os autores concluem que há a necessidade de mudanças significativas de política para alcançar as reduções de emissão de carbono previstas pelo Protocolo de Kioto. Roca e Alcântara (2001) investigaram a relação entre a intensidade energética, as emissões de CO₂ e o crescimento do produto para

a Espanha. Eles não encontram, em seu estudo, qualquer evidência do “descolamento” entre essas variáveis.

Dado as considerações teóricas que apontam para a necessidade de estudar a dinâmica individual de cada país, o presente estudo pretende acrescentar ao conhecimento sobre a CKA avaliando – nos moldes dessa hipótese – o caso específico do consumo de energia final, como um todo, e sua relação com desenvolvimento no Brasil. Para tanto, será realizada, a seguir, uma análise histórica da evolução do padrão de consumo de energia final e do desenvolvimento econômico no Brasil.

CAPÍTULO III – Evolução do Padrão de Consumo Energético Final Brasileiro: 1970 – 2003

Este capítulo visa retratar a evolução histórica do consumo final energético brasileiro, paralelamente aos desdobramentos econômicos ocorridos no período, em especial aqueles referentes ao comércio exterior. Para tal, o capítulo está dividido em duas seções: a primeira descreve, de maneira sucinta, o desenvolvimento da economia e do consumo energético no Brasil nas últimas três décadas; a segunda é voltada para os acontecimentos referentes ao comércio exterior brasileiro e sua relação com o uso de energia.

III.1 – Evolução do Consumo Energético Final e sua relação o Desenvolvimento Brasileiro no período 1973 – 2003

O desenvolvimento econômico depende diretamente do uso de energia. Esta, por sua vez, faz-se necessária na realização de atividades produtivas, assim como na melhora do bem estar da população. Contudo, a relação entre os dois não é necessariamente fixa, podendo variar por várias razões como, por exemplo, o nível de atividade econômica. Diversos fatores, como a composição da produção e do consumo, as tecnologias disponíveis, as condições climáticas, os padrões culturais, geográficos, demográficos e distributivos, etc. podem ter influência sobre a quantidade de energia gasta para gerar uma unidade de produto.

Uma das abordagens utilizadas para descrever a relação entre o uso de energia – ou intensidade do uso de energia – e o crescimento econômico é a Hipótese da CKA, vista no capítulo anterior. De acordo com essa abordagem, nos estágios iniciais de desenvolvimento, a quantidade de energia utilizada para gerar uma unidade de produto é crescente, fazendo com que o crescimento econômico seja baseado em uma intensidade energética cada vez maior. À medida que a economia se desenvolve, essa relação passa a se estabilizar e, eventualmente, se inverter, em função de mudanças na composição da produção e avanços tecnológicos. Nos termos colocados por Grossman e Krueger (1991), em um certo nível de desenvolvimento, o efeito escala/atividade é compensado pela combinação dos efeitos estrutura/composição e técnico/intensidade.

Embora alguns autores tenham investigado a validade de tal hipótese no âmbito internacional (Grossman e Krueger, 1991; Shafik e Bandyopadhyay, 1992; Selden e Song, 1994; e Grossman e Krueger, 1995; Suri e Chapman, 1998; Cole, 2004), faltam estudos que foquem países específicos. O intuito deste trabalho é testar a Hipótese da CKA aplicada ao uso de energia para o Brasil. Para isso, será feita, inicialmente, uma síntese do processo de desenvolvimento econômico brasileiro nos últimos trinta anos, relacionando-a com a evolução do padrão de consumo final energético do período. Posteriormente, nos capítulos seguintes, testar-se-á formalmente a Hipótese da CKA para o Brasil, através da análise de regressão múltipla.

A década de 1970 é marcada pelo que se chamou de o “milagre econômico brasileiro”, que havia começado em 1967 com o Plano Estratégico de Desenvolvimento (PED) e obteve continuidade com o segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), a partir de 1974. Esse período de alto crescimento econômico – o crescimento médio anual da década foi de 8,23%, tendo atingido um máximo de 14%, em 1973 – foi impulsionado por uma forte ação do estado sobre a economia no que diz respeito a investimentos e concessão de subsídios, isenções e crédito (Lago, 1992). O ritmo de crescimento econômico do início da década foi praticamente mantido após o primeiro choque do petróleo (1973), através de uma política de crescimento com endividamento, onde o desequilíbrio no balanço de pagamentos e as altas taxas de investimento eram mantidos à custa do crescimento da dívida externa (Carneiro, 1992; Leite, 1997).

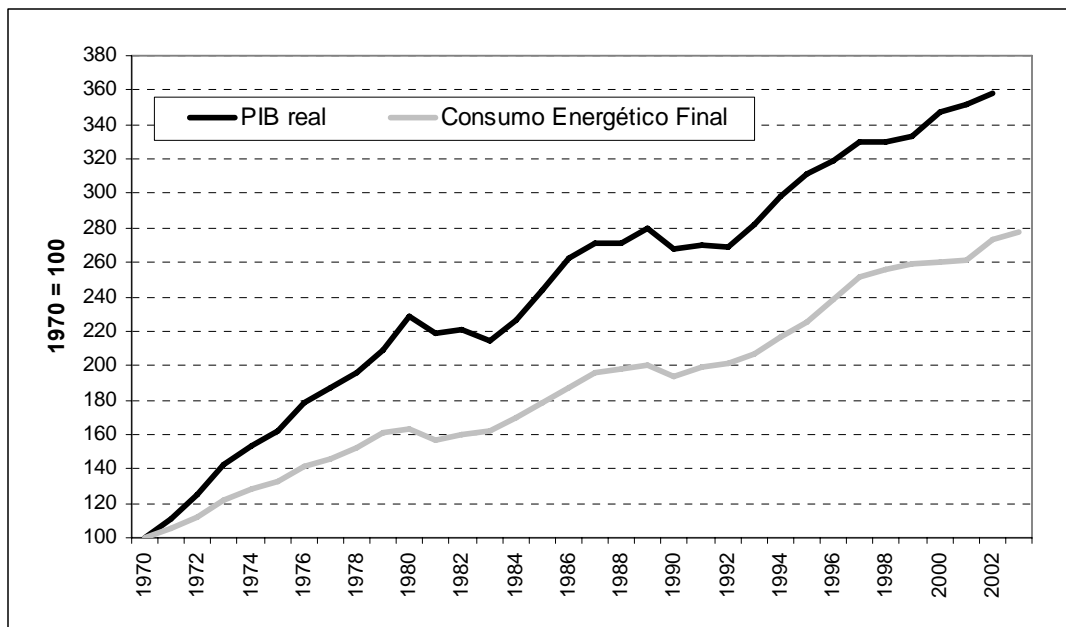
Apesar de o crescimento observado ter ocorrido em todos os segmentos da economia, destacaram-se os setores básicos, que representavam entraves ao

desenvolvimento de longo prazo e que tinham grande peso nas contas externas do país. Tais setores, priorizados nos investimentos governamentais, foram infra-estrutura (energia, transportes e comunicação), siderurgia, mineração e construção civil, justamente aqueles com alta intensidade energética (Castro e Souza, 1985; Lago, 1992; Henriques Junior, 1995; Machado e Schaeffer, 2005).

O crescimento da atividade econômica gerou um inevitável aumento no consumo energético brasileiro, como se pode observar no gráfico **III.1**. O consumo energético, no entanto, cresceu a taxas menores do que o PIB real, o que acarretou numa queda da intensidade energética brasileira (gráfico **III.2**). Deve-se considerar, todavia, que a medida de intensidade energética aqui utilizada (Consumo Energético Final / PIB Real) está sujeita a distorções geradas pela variação dos preços relativos. Uma queda no preço internacional do aço, por exemplo, poderia aumentar a intensidade energética do setor sem que haja qualquer alteração efetiva na eficiência técnica na produção.

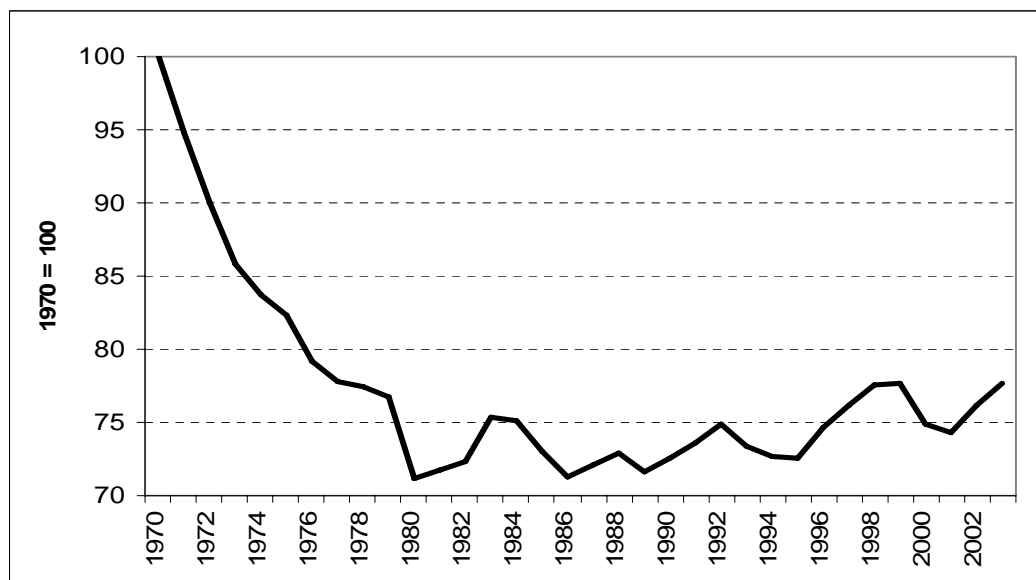
Em sua decomposição do aumento do consumo de energia brasileiro nos efeitos atividade, estrutura e intensidade, Machado e Schaeffer (2005) identificam um efeito positivo para o primeiro e o segundo e um efeito negativo para o terceiro. Ou seja, na década de 1970, enquanto o crescimento da atividade econômica influenciou positivamente o consumo de energia, tal efeito foi, em parte compensado pelo efeito intensidade. Esse último entendido como mudanças nas fontes de energia, nas técnicas de produção ou no valor econômico dos produtos produzidos (Machado e Schaeffer, 1995).

Gráfico III.1 – Crescimento do PIB Real e do Consumo Energético Final



Fontes: IPEA (2005); MME (2004)

Gráfico III.2 – Intensidade Energética Brasileira – Consumo Energético Final (tep) / PIB (R\$ de 2003)

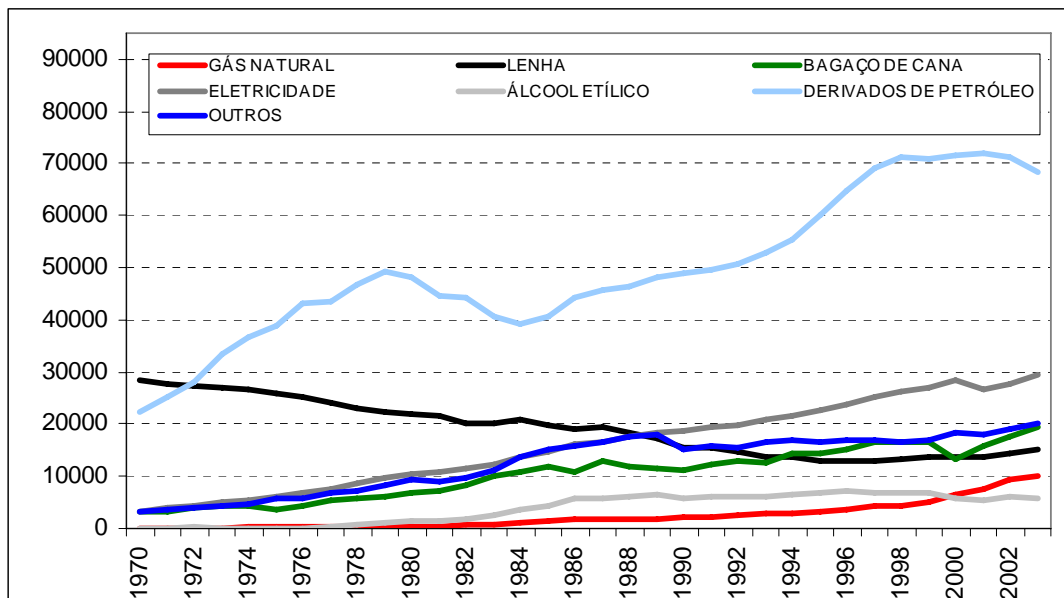


Fontes: IPEA (2005); MME (2004)

Em termos da composição em fontes de energia, o consumo energético do país diversificou-se a partir de 1970, privilegiando fontes mais modernas, como os derivados de petróleo e eletricidade, em detrimento do consumo de lenha, principal energético no começo da década (ver gráfico III.3). Das principais fontes energéticas, destacam-se os derivados de petróleo, tanto em nível de consumo quanto em taxa de crescimento. Ao longo da década de 1970, o consumo de derivados de petróleo subiu 116%, resistindo, inclusive, ao primeiro choque do petróleo, em 1973. Com o intuito de prosseguir no esforço de crescimento acelerado do início da década, optou-se pelo caminho de ajuste a longo prazo, onde o desequilíbrio nas contas externas do país – devido, em grande parte, às importações de petróleo – era compensado pelo crescimento da dívida externa, como dito anteriormente (Carneiro, 1992; Leite, 1997). Não foi possível, entretanto, replicar essa estratégia quando houve o segundo choque do petróleo, em 1979, frente à escassez de financiamento externo e ao aumento das taxas de juros internacionais, tornando mais custoso e prolongado o processo de ajuste aos novos preços relativos (Carneiro e Modiano, 1992).

Foi então que, em função do desequilíbrio macroeconômico gerado pelo alto nível de endividamento externo, pelo déficit no balanço de pagamentos, pela inflação explosiva e pelas crises financeira internacional e do petróleo, na década de 1980, o Brasil vivenciou um período de taxas de crescimento muito baixas, em termos absolutos. Em termos *per capita*, a renda real de fato caiu 3,7% entre 1980 e 1990, alternando entre períodos de crescimento e recessão. Chamada de a “década perdida”, esse período foi marcado por tentativas falhas de se restabelecer a estabilidade econômica (Castro e Souza, 1985; Carneiro, 1992; Carneiro e Modiano, 1992).

Gráfico III.3 – Consumo Energético Final Brasileiro por Fonte (10³ tep)



Fonte: MME (2004)

Paralelamente, nos anos 1980, o consumo energético seguiu uma trajetória similar à da economia, fazendo com que a intensidade energética se mantivesse estável no período entre 70% e 75% do nível daquela de 1970 (gráfico III.2). No que diz respeito à composição do consumo energético, todavia, verificou-se uma queda no uso de derivados (ver gráfico III.3), resultado de políticas de conservação e substituição de energia tomadas para combater os gastos crescentes com as importações de petróleo. A partir da idéia de que os preços desse energético não mais voltariam aos patamares de antes do primeiro choque, o governo incentivou a substituição do petróleo por energia elétrica – através de mecanismos tarifários e incentivos – e álcool – com a intensificação do “Proálcool”, a partir de 1981 (Leite, 1997). A partir de 1984, com a queda das cotações internacionais do petróleo, o consumo de derivados mais uma vez cresceu, retornando aos níveis de 1979 em 1991.

Se a década de 1980 foi a “década perdida”, a de 1990 foi a de reformas. Nesse período, a inflação foi controlada através do Plano Real, passando de um patamar de 45% ao mês em junho de 1994 (um mês antes da conversão do Cruzeiro Real para a nova moeda, o Real) para 1,75% ao mês em setembro do mesmo ano¹⁴. A taxa continuou caindo até 1998, chegando a uma taxa acumulada de 1,79% nesse ano. O êxito do plano foi possível devido a reformas que visavam aumentar a produtividade através de uma menor intervenção governamental (Pinheiro *et al*, 2001). Tais reformas foram: a liberalização do comércio exterior, através da remoção de barreiras tarifárias e não-tarifárias e subsídios; a privatização de empresas estatais, o que melhorou a competitividade nos setores da indústria e de infra-estrutura, antes controlados pelo governo; a desregulamentação do mercado, que libertou as companhias de inúmeros controles administrativos (Pinheiro *et al*, 2001).

O novo ambiente macroeconômico estável possibilitou ao Brasil crescer em relação à década anterior. As reformas, no entanto, não foram suficientes para diminuir a vulnerabilidade externa do país. Os resultados negativos na conta corrente, gerados pela sobrevalorização do Real e pelo aumento de demanda, eram financiados por capital de curto prazo. Diante das crises do México (1995), asiática (1997) e da moratória da Rússia (1998), o Brasil se viu diante de uma situação insuportável em que foi obrigado a desvalorizar sua moeda, ocasionando a crise cambial brasileira de 1999 (Pinheiro *et al*, 2001; Machado e Schaeffer, 2005).

¹⁴ Inflação medida pelo IGP-M da Fundação Getúlio Vargas. Fonte: IPEA (2004)

Ao longo dos anos 1990, a retomada do crescimento econômico foi seguida por um aumento no consumo energético. Nesses anos, o efeito atividade foi o principal impulsionador do aumento no consumo energético brasileiro. O efeito intensidade também foi positivo ao longo da década. Já o efeito estrutura compensou, em parte, o aumento nos demais efeitos na primeira metade dos anos 1990. Na metade seguinte, todavia, o efeito estrutura também foi positivo, reforçando os outros dois efeitos (Machado e Schaeffer, 2005). Observa-se que a intensidade energética brasileira (gráfico III.2) tem uma leve elevação a partir de 1996, tendendo a ficar acima de 75% do nível de 1970.

O consumo de derivados cresceu ao longo da maior parte da década de 1990, tendo se estabilizado a partir de 1999 e, posteriormente, caído, em função de novas altas no preço do petróleo. Em 1999, o preço médio do barril no mercado *spot* foi 33,8% maior que no ano anterior e, em 2000, 57,4% acima daquele de 1999. O consumo de energia elétrica também cresceu, aumentando 52% entre 1990 e 2000. Embora representem uma parcela pequena do consumo energético final brasileiro, o crescimento do consumo de gás e carvão mineral foi notável: 190% e 186% entre 1990 e 2000, respectivamente.

Nos últimos três anos do período de análise proposto por este trabalho, dois eventos se destacam no que diz respeito à questão energética no Brasil. O primeiro foi o racionamento de energia elétrica, ocorrido em 2001 em função da baixa capacidade instalada, agravada pela seca que atingiu o país¹⁵, e dos baixos índices de investimento em geração. O consumo final de energia elétrica caiu, em 2001, 8,4% em relação ao ano anterior, devido às políticas de racionamento e conservação adotadas na época para evitar a

¹⁵ Em 2000, 87% da geração de energia elétrica brasileira provinha de fontes hidráulicas.

falta de energia – o chamado “apagão”. Esse evento, junto com a crise na Argentina e a desaceleração da economia norte-americana, evitou que o país replicasse, em 2001, o crescimento obtido no ano anterior (Pinheiro *et al.*, 2001). O segundo foi o aumento no consumo de gás natural. Esse aumento se deu não só no consumo final, mas também como energia primária para geração de eletricidade. No primeiro caso, destaca-se o uso do gás natural na indústria e como combustível para automóveis. Na geração de eletricidade, o gás natural tem sido utilizado como alternativa à hidroeletricidade na expansão do sistema elétrico após o racionamento de 2001.

Sumarizando, a principal força por trás do aumento do consumo energético brasileiro nos últimos trinta anos foi a escala de produção (efeito atividade). Os outros efeitos em certos momentos ampliaram esse movimento e, em outros, agiram no sentido contrário (Machado e Schaeffer, 2005). Houve uma queda na intensidade energética ao longo da década de 1970. Após então, ela se manteve estável até recentemente, quando começou a esboçar um aumento. Durante o tempo analisado, destaca-se o crescimento do consumo de derivados, apesar dos dois choques do petróleo, em 1973 e 1979. A eletricidade também se expandiu consideravelmente, enquanto a lenha, principal fonte energética em 1970 perdeu cada vez mais espaço.

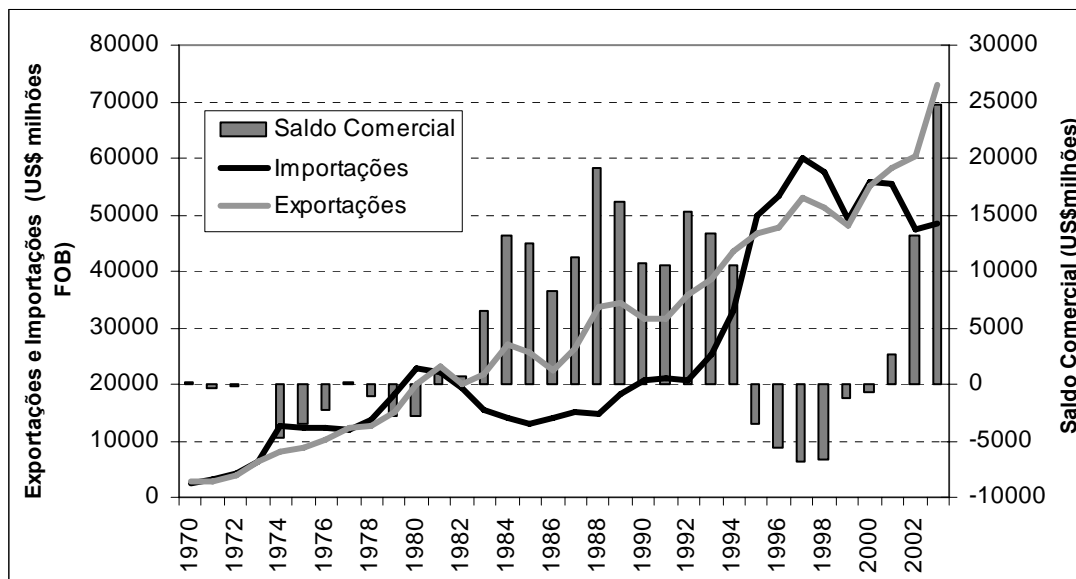
II.2 – Comércio Exterior e sua Influência sobre o Consumo Final de Energia

O Brasil foi, durante muito tempo, uma das economias mais fechadas do mundo, fruto da política de substituição de importações, na qual se baseou o desenvolvimento ao

longo do “milagre econômico” (Moreira e Correia, 1998). Somente no final da década de 1980 o Brasil iniciou um processo de liberalização, tornando sua economia mais aberta ao comércio exterior.

O gráfico **III.4** mostra a evolução da balança comercial brasileira. Percebe-se que, ao longo dos últimos 30 anos, tanto as importações quanto as exportações tiveram tendência de crescimento, embora de forma diferenciada. Nos anos 1970, as compras de bens de capital e de outros recursos – matérias primas, inclusive petróleo – essenciais ao processo de desenvolvimento impulsionaram o crescimento das importações brasileiras. Pelo lado das exportações, as políticas de incentivo tiveram papel importante para sua expansão (Lago, 1992). Como resultado, ambos cresceram ao longo da década, sendo o saldo predominantemente negativo a partir de 1974.

O ajuste recessivo aos desequilíbrios no balanço de pagamentos no início da década de 1980 surtiu efeito no que diz respeito à melhora da balança comercial. Se, por um lado, a queda na demanda interna desestimulou as importações, por outro, a ausência de um mercado doméstico também incentivou as exportações (Carneiro e Modiano, 1992). Observa-se esse movimento no gráfico **III.4**. Enquanto as importações caíram, as exportações oscilaram mas mantiveram uma tendência de crescimento, gerando um saldo comercial positivo ao longo da década.

Gráfico III.4 – Balança Comercial Brasileira: 1970 - 2003

Fonte: BCB (2005)

A diminuição das restrições cambiais no final da década de 1980 permitiu ao Brasil adotar uma política comercial mais aberta. Sendo assim, entre 1988 e 1993, o governo reduziu drasticamente a proteção aos produtores nacionais (Pinheiro *et al.*, 2001). Esperava-se, com isso, um aumento de produtividade e uma modernização tecnológica por parte dos produtores nacionais frente à competição de produtos importados. Entretanto, inicialmente, não foi isso que ocorreu (Muendler, 2001). Observou-se um grande salto nas importações a partir de 1992, que cresceram 191% no período 1992-1997. O desempenho das exportações, contudo, não acompanhou essa escalada. A sobrevalorização da moeda facilitava a importação de bens e serviços enquanto tirava competitividade das exportações brasileiras¹⁶.

¹⁶ Outros fatores como um sistema fiscal ineficiente, a especialização em segmentos pouco dinâmicos e a ausência de investimentos em infra-estrutura também geraram empecilhos às exportações brasileiras logo após a liberalização comercial (Bonelli *et al.*, 1997; Medeiros, 1997; Cavalcanti e Ribeiro, 1998; Pereira e Carvalho, 1998; Veiga, 2000; Pinheiro e Moreira, 2000; Miranda, 2001; Pinheiro *et al.*, 2001).

O resultado inicial da liberalização comercial promovida pelo governo no início dos anos 1990 foi, portanto, o retorno de déficits comerciais. Diante de uma situação internacional desfavorável, em janeiro de 1999 o Brasil desvalorizou o Real. Somente então as exportações começaram a mostrar uma tendência de crescimento forte. Em 2000, a expansão das exportações foi de 14.7%. No período 2000 – 2003 o crescimento acumulado foi de 32.7%.

O aumento na participação do comércio exterior na economia do país após a liberalização comercial só ocorreu a partir de 1996 quando as exportações como proporção do PIB passaram a apresentar uma tendência de crescimento. Embora inicialmente, as importações cresceram em importância relativa, as exportações não tiveram o mesmo dinamismo, crescendo somente após um período de ganho de produtividade e sendo impulsionadas pela desvalorização de 1999 (Bonelli, 2001).

Analisando a relação entre consumo energético e comércio, o aspecto relevante a ser considerado é a especialização comercial ocorrida no país ao longo do processo de integração da economia brasileira ao mercado internacional de bens e serviços. Mais especificamente, é preciso analisar a evolução dos setores de exportação brasileiros que são intensivos em energia, para verificar se a especialização comercial brasileira os favoreceu.

Como visto no capítulo anterior, uma das críticas à hipótese da CKA é que ela não considera os fluxos comerciais, que poderiam, em parte, explicar a redução dos níveis de

poluição dos países de renda mais alta como o resultado de uma transferência de indústrias pesadas para os países de renda mais baixa (Cole, 2004). A Hipótese dos Portos de Poluição atribui esse deslocamento aos diferenciais de regulação (Jaffe *et al.*, 1993; Janicke *et al.*, 1997; Mani e Wheeler, 1998; Cole, 2004). Outros estudos atribuem a transferência de setores intensivos em energia e poluição à abundância relativa de recursos naturais/energia, com base no teorema de Hecksher-Ohlin¹⁷ (Walter, 1974; Siebert, 1992; Stern, 1998). Embora não seja o escopo deste trabalho analisar a força por trás da especialização comercial brasileira, esta última é fundamental para se entender a relação entre o comércio exterior brasileiro e o consumo energético do país.

Ao decompor as exportações brasileiras e analisar o comportamento dos produtos energo-intensivos¹⁸, percebe-se que dentro desses setores houve um aumento considerável na quantidade¹⁹ produzida para a exportação após a liberalização comercial, como mostra a tabela III.1. Deve-se ressaltar a importância da agropecuária na expansão das exportações brasileiras, tendo crescido 307,2% em *quantum* no período 1990 – 2003. Não obstante, os setores energo-intensivos também mostram um crescimento considerável. Papel e celulose, elementos químicos, indústrias diversas, minerais não metálicos e químicos apresentaram taxas de crescimento acima daquela para as exportações como um todo. Os demais setores intensivos em energia – metalurgia não ferrosos, outros produtos

¹⁷ O teorema de Hecksher-Ohlin caracteriza a vantagem comparativa de um país de acordo com a abundância relativa de fatores de produção (Krugman e Obstfeld, 2001).

¹⁸ São considerados intensivos em energia os seguintes setores: papel e celulose, elementos químicos e químicos diversos, minerais não metálicos, metalurgia não ferrosos e outros produtos metalúrgicos e siderurgia. Essa categorização é baseada em Machado (2002).

¹⁹ Como ressalta Miranda (2001), o valor das exportações não apresenta a mesma dinâmica dos volumes exportados em função da evolução dos preços internacionais, que desfavorecem os principais setores de exportação brasileiros. Desta forma, optou-se por usar uma medida de quantidade ao invés de valor, já que o consumo energético está ligado à primeira.

metalúrgicos e siderurgia –, embora tenham crescido abaixo da média, também expandiram suas exportações, em *quantum*, no período após a liberalização comercial. Deve-se notar que esses setores, tiveram sua maior fase de crescimento no período anterior à remoção das barreiras comerciais brasileiras, tendo apresentado uma taxa de crescimento, em *quantum*, médio anual de 15,5%, 29,5% e 29,5% entre 1974 e 1980, respectivamente.

Tabela III.1 – Exportações Brasileiras por Setor (quantum, 1990 = 100)

Ano \ Setor	agropecuária	celulose, papel e gráfica	elementos químicos	indústrias diversas	metalurgia não ferrosos	minerais não metálicos	outros produtos metalúrgicos	químicos diversos	siderurgia	Total Exportado
1974	77,7	10,6	10,1	36,2	3,8	28,0	13,3	36,9	5,6	40,9
1975	89,3	10,3	9,0	31,1	4,3	27,8	14,5	26,5	5,9	43,5
1976	87,1	10,1	5,9	24,4	2,9	25,8	15,1	34,6	8,7	43,5
1977	70,5	11,3	7,4	28,6	3,5	29,8	21,2	35,8	10,0	41,9
1978	42,8	23,0	11,3	41,6	5,4	41,9	28,3	41,8	17,6	46,7
1979	46,8	38,2	18,8	55,9	7,1	51,8	39,4	45,0	23,7	51,0
1980	65,0	51,9	31,7	57,9	7,5	75,8	59,5	50,1	23,4	62,0
1981	62,2	61,2	24,3	66,2	10,8	71,7	62,4	53,8	28,2	74,5
1982	52,6	55,9	31,2	51,2	8,6	47,8	41,2	52,4	31,7	67,9
1983	68,6	70,4	39,5	49,4	26,0	52,9	53,1	72,5	61,6	77,5
1984	63,4	85,7	72,2	80,8	38,7	82,1	97,6	73,2	73,5	92,6
1985	99,9	76,6	60,1	98,9	41,9	88,1	77,6	71,4	77,2	94,5
1986	58,3	83,9	65,7	83,2	55,2	93,9	87,1	70,9	67,1	79,5
1987	82,8	74,2	62,7	105,6	65,7	96,8	69,4	76,2	68,8	93,1
1988	77,6	110,6	82,8	89,7	85,6	124,9	98,6	90,7	114,4	107,7
1989	107,8	96,8	93,5	109,8	86,5	128,5	110,5	105,5	110,6	107,2
1990	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1991	65,9	120,7	95,8	121,0	123,8	108,5	112,1	103,2	114,2	102,6
1992	102,8	145,3	114,5	172,7	137,1	133,4	119,8	122,8	124,0	120,1
1993	112,5	196,5	126,5	270,0	140,0	209,4	142,5	149,9	126,7	139,9
1994	127,9	187,3	128,9	247,0	145,9	190,1	141,3	152,6	118,5	142,8
1995	91,4	165,7	139,5	235,3	147,1	184,5	129,4	161,7	104,8	134,2
1996	99,2	177,0	163,4	223,7	158,7	180,5	115,6	176,4	110,7	137,7
1997	174,5	196,3	167,2	233,6	159,0	189,2	132,0	210,2	98,7	151,8
1998	185,5	202,1	169,4	260,6	142,4	189,0	124,0	209,5	98,7	157,0
1999	179,5	223,2	190,8	305,1	165,4	229,4	121,5	191,0	108,7	169,1
2000	225,9	215,4	190,8	325,3	170,3	284,3	139,5	214,1	113,1	187,9
2001	341,1	236,3	186,1	317,7	149,4	265,0	160,9	231,7	107,4	205,8
2002	328,1	247,4	254,4	344,5	178,7	308,3	188,3	252,7	128,2	223,6
2003	407,2	314,7	291,7	310,1	187,0	393,1	197,2	279,4	148,5	258,5

Fonte: IPEA (2005)

As evidências de que a especialização comercial brasileira enfatizou produtos agropecuários, assim como aqueles intensivos em recursos naturais e energéticos, vão de encontro com a conclusão de estudos mais aprofundados sobre o assunto (Moreira e Correa, 1997; Medeiros, 1997; Pereira e Carvalho, 1998; Cavalcanti e Ribeiro, 1998; Ricupero, 2000; Veiga, 2000; Pinheiro e Moreira, 2000; Gonçalves, 2001; Miranda 2001;

Machado, 2002). Portanto, conclui-se que a especialização comercial brasileira contribuiu para o crescimento do consumo energético final brasileiro.

CAPÍTULO IV – Metodologia e Procedimentos de Trabalho

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia comumente utilizada nos estudos sobre a CKA, além daquela que será utilizada na investigação proposta pelo atual estudo. Sua estrutura é dividida em três seções. A primeira faz uma revisão da metodologia mais frequentemente utilizada na literatura sobre a CKA, na qual se baseia a empregada neste estudo. A segunda seção discorre sobre, e analisa, os dados a serem utilizados no modelo. Por fim, a terceira apresenta as especificações que serão testadas.

IV.1 – Revisão e Avaliação das Metodologias de Estimativa da CKA

Grande parte dos estudos que tentaram captar a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental utiliza a econometria como ferramenta de análise. Tal instrumental baseia-se na análise de regressão múltipla que, por sua vez, avalia a dependência estatística entre variáveis. Diferentemente de uma análise de correlação, que mede o grau de associação linear entre duas variáveis, a análise de regressão visa estimar o valor médio de uma variável, tendo como base valores fixos de outras variáveis. Portanto, há uma assimetria na forma como as variáveis são tratadas, sendo uma a variável dependente que é explicada através de uma (regressão simples) ou mais (regressão múltipla) variáveis explicativas, através de uma função de regressão.

A função de regressão pode ter diversos formatos, como será visto mais tarde. Estimam-se coeficientes lineares para cada variável explicativa. Tal coeficiente, ou estimador (neste trabalho representado por β), mede a mudança no valor médio da variável dependente gerada por uma variação unitária na variável explicativa em questão, supondo todas as demais presentes no modelo constantes.

Geralmente, a estimação da função de regressão é feita pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Esse método consiste em minimizar o quadrado das perturbações estocásticas inerentes às relações não determinísticas. O erro estocástico, como também é chamado, corresponde a todos os fatores que coletivamente explicam a variável dependente, mas que não estão incluídos explicitamente no modelo. O método de

MQO possui, sob certas hipóteses, propriedades estatísticas interessantes, como eficiência (variância mínima) e ausência de viés (a média dos coeficientes estimados tende para o valor real deste).²⁰

O modelo utilizado nos primeiros estudos sobre a CKA (Grossman e Krueger, 1991 e 1995; Shafik e Bandyopadhyay, 1992; Selden e Song, 1994) é basicamente o mesmo, ou seja:

$$E_{i,t} = \alpha + \beta_1 Y_{i,t} + \beta_2 Y_{i,t}^2 + \beta_3 Y_{i,t}^3 + \beta_4 t + \beta_5 V_{i,t} + \mu_{i,t}$$

em que E representa alguma medida de qualidade ambiental; α é uma constante; Y é a renda per capita; t é um elemento para remover tendências temporais, atribuídas, por Grossman e Krueger (1995), por exemplo, ao avanço tecnológico; V é um vetor de outros fatores que podem influenciar a relação entre E e Y (e.g. densidade populacional, abertura comercial, distribuição de renda); μ representa o erro estocástico; os subscritos i e t são os índices para país e período, respectivamente.

O modelo descrito acima permite testar várias formas de relação entre renda e qualidade ambiental. Dependendo dos sinais dos coeficientes estimados, a função de regressão acima assume formatos distintos, ilustrando um tipo diferente de relação (De Bruyn *et al.*, 1998). Basicamente:

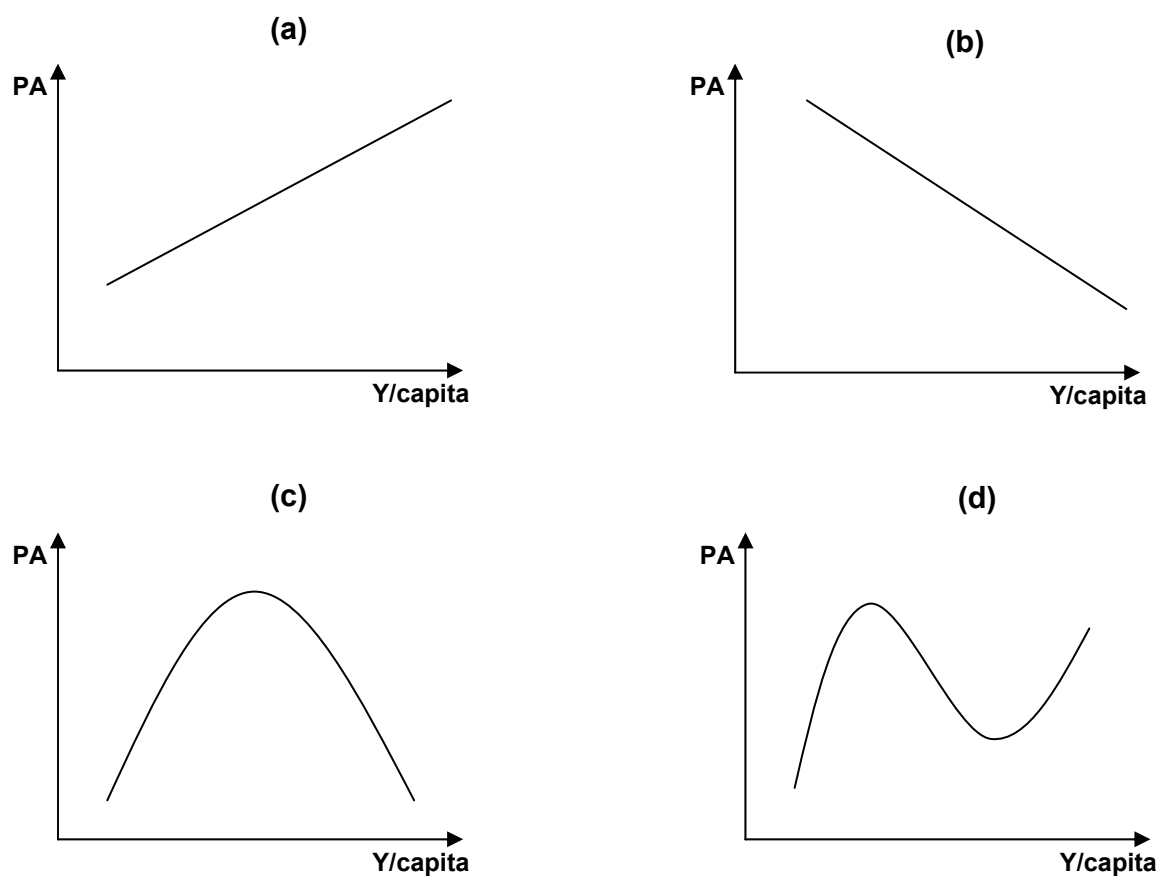
²⁰ Para maiores referências sobre a análise de regressão, ver Gujarati (2000), Wonnacott e Wonnacott (1990).

1. 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 **IV.1a**);
2. 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 **IV.1b**);
3. 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 **IV.1c**). A partir dessa função quadrática com concavidade para baixo (na forma de “U invertido”) pode-se calcular o ponto de inflexão (Y^*) igualando $\partial E/\partial Y = 0$, cujo resultado é:

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

4. se $\beta_1 > 0$ e $\beta_2 < 0$ e $\beta_3 > 0$, a relação passa a assumir a forma de “N”, como na Figura **IV.1d**. Nesse caso, a CKA representaria apenas um estágio dessa relação, antes que houvesse o “recasamento” a partir do segundo ponto de inflexão.

Figura IV.1 – Diferentes Possibilidades para a Relação Renda – Pressão Ambiental



PA – Pressão Ambiental; Y/capita – Renda per capita.

Alguns autores (Suri e Chapman, 1998; de Bruyn *et al.*, 1998; Agras e Chapman, 1999; Heerink *et al.*, 2001; Cole, 2004) optaram por uma transformação logarítmica do modelo descrito acima, resultando na seguinte especificação:

$$\log(E_{i,t}) = \alpha + \beta_1 \log(Y_{i,t}) + \beta_2 \log(Y_{i,t})^2 + \beta_3 \log(Y_{i,t})^3 + \beta_5 \log(V_{i,t}) + \mu_{i,t}$$

O uso de logaritmo é interessante pois, além de, às vezes, tratar de alguns problemas relacionados com as séries – como a não estacionariedade ²¹ – ele faz com que os coeficientes estimados representem a elasticidade. Desta forma, eles indicam a sensibilidade da variável dependente com relação a mudanças nas variáveis explicativas. O uso de logaritmo também garante que as variáveis mantenham sempre valor positivo.

A principal vantagem da metodologia acima descrita é que a influência da renda sobre a pressão ambiental é diretamente estimada numa forma funcional simples e de fácil interpretação. Não obstante, o modelo pode ser estimado com diversas formas funcionais diferentes, o que permite uma maior adequação deste à teoria ou às evidências observadas através da análise dos dados. Além disso, ao se incluir outras variáveis além da renda no modelo, pode-se controlar o resultado, impedindo que o efeito que tais variáveis possam ter através da renda seja captado pelo coeficiente desta. Isso ocorre uma vez que o coeficiente de uma variável explicativa dentro da função de regressão múltipla supõe constantes todas as outras presentes no modelo.

Por outro lado, a metodologia acima descrita não fornece qualquer informação a respeito das causas por trás da relação por ela descrita. O modelo é, portanto, puramente descritivo, deixando a cargo da teoria a identificação dos fatores que geram tal comportamento. Da mesma maneira, por mais forte e sugestiva que seja, a evidência estatística não pode implicar em causalção. Uma relação de causalidade é forte demais para

²¹ Uma série temporal é dita não estacionária (estacionariedade fraca) quando sua média e variância variam ao longo do tempo. Maiores considerações sobre esse problema serão feitas posteriormente.

ser sustentada somente por evidências empíricas, ressaltando a necessidade de uma teoria à parte que ampare os resultados.

Fora as mencionadas no parágrafo acima, grande parte das críticas sobre os procedimentos de estimação da CKA recai, não sobre o modelo em si, mas, sim, sobre sua utilização. Tais críticas incluem omissão de variáveis chave, falta de dados objetivos sobre meio ambiente e qualidade estatística das séries, i.e. se elas são estacionárias ou passíveis de cointegração (Dinda, 2004; Stern, 1996 e 2004; De Bruyn *et al.*, 1998). Não obstante, poucos estudos apresentam abordagens diferentes para a análise da hipótese da CKA (ver, por exemplo, Unruh e Moomaw, 1998).

IV.2 – Análise dos Dados

As evidências empíricas sobre a CKA colocadas na literatura internacional foram, em sua maioria, extraídas de modelos que utilizam dados de painel. Ou seja, de modelos que utilizam dados para diversas nações em diferentes momentos no tempo. Numa análise de um país específico se faz necessário o uso de séries temporais – i.e. observações da mesma variável ao longo do tempo – o que restringe o tamanho da amostra e levanta a necessidade de alguns cuidados para garantir a relevância estatística dos resultados.

O estudo empírico da relação entre a renda e qualquer medida de pressão ambiental para o Brasil torna-se problemático na medida em que faltam dados objetivos que formem uma série histórica suficientemente longa para a utilização de uma metodologia como a

análise de regressão em séries temporais. Isso é recorrente com relação às medidas de qualidade ambiental, o que limita o escopo deste estudo à análise da CKA para o consumo energético final e para as emissões de CO₂ provenientes deste.

O consumo energético final, conforme disponibilizado pelo Balanço Energético Nacional de 2004 (MME, 2004), será utilizado com *proxy* para os impactos ambientais gerado pelo uso final de energia no país. Embora não seja a mais adequada, face aos diversos desdobramentos tecnológicos que podem alterar os impactos ambientais do uso da energia, essa *proxy* é a única disponível ao nível nacional em uma série longa o suficiente para atender à necessidade de informação da metodologia a ser empregada. Além disso, estudos da CKA apontaram um formato de “U” invertido em função de tecnologias de fim de linha ou em reduções na intensidade energética da produção. Ao estudar o consumo de energia, portanto, testa-se o segundo caso (Suri e Chapman, 1998).

É possível, no entanto, calcular as emissões de CO₂ resultantes da queima de combustíveis no uso final da energia. Será feita, então, a análise de regressão para as emissões de CO₂ provenientes do consumo energético final com o intuito de se incluir, diretamente, na análise, uma das dimensões dos impactos ambientais gerados pelo uso de energia. O cálculo da série das emissões de carbono brasileiras é explicado no Apêndice A.

O interesse em se estudar emissões de CO₂ se faz relevante em vista dos esforços internacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa através do Tratado de Kyoto, que entrou em vigor em 2005. Embora, segundo o Protocolo, o Brasil não tenha

obrigação formal de reduzir suas emissões, uma análise da evolução das emissões brasileiras – relacionando-as ao desenvolvimento econômico – se faz útil, em vista da maior necessidade de entendimento de tal conexão. Entendimento este, que é crucial no caso de o Brasil ter que, no futuro, promover políticas de redução das emissões de gases de efeito estufa.

Paralelamente, uma investigação exclusivamente voltada para emissões de CO₂ deixa de fora outros impactos ambientais provenientes do uso de energia, ressaltando a necessidade de se basear a análise no consumo energético final. Sendo o Brasil um país onde uma importante parte da matriz energética corresponde à hidroeletricidade e fontes renováveis como o álcool e o bagaço de cana (cuja emissão líquida de CO₂ é nula), a análise puramente voltada para esse indicador deixaria de lado importantes fontes energéticas que geram impactos significativos sobre o meio ambiente. Ficam de fora, também, os impactos gerados pelo uso energético que não emissões de carbono para as fontes fósseis, tais como emissões de outros poluentes (NO_x, SO_x, material particulado, etc.), além de outros impactos, como o desmatamento. Evidentemente, as variáveis escolhidas neste estudo não representam todas entre as várias dimensões de impactos antropogênicos sobre o meio ambiente. Entretanto, a limitação imposta pela pouca disponibilidade de dados não permite analisar outras medidas de pressão ambiental através da análise de regressão.

Os impactos sobre o meio ambiente das variáveis mencionadas no parágrafo anterior resultam, de fato, da magnitude destas. É mais interessante, contudo, investigar as variáveis normalizadas pela população, na tentativa de captar mudanças no padrão de

consumo, na estrutura da economia e nas técnicas de produção²². Os valores absolutos poderiam ofuscar tais efeitos em função do efeito escala gerado pelo crescimento populacional. Espera-se, com o uso de valores *per capita*, que o modelo capte não a parcela do efeito escala gerada pela necessidade de atender a uma população crescente, mas, sim, aquela relativa ao aumento do bem estar material desta. Ademais, valores *per capita* são grandezas comparáveis, independentes do tamanho do país, que refletem a parcela correspondente ao habitante médio. Estudos que encontraram uma CKA para consumo energético (Suri e Chapman, 1998) utilizam dados *per capita* para compensar o efeito escala gerado pelo crescimento populacional. Dessa forma, serão estimados, também, modelos para os valores *per capita* do consumo final energético e das emissões de CO₂, que indicam quanto cada habitante, direta e indiretamente, consumiu de energia e emitiu de CO₂.

Os dados sobre o consumo energético disponibilizados pelo Balanço Energético Nacional (BEN) são anuais, começando em 1970. O último ano disponível até o momento é 2003, o que faz com que haja 33 observações na amostra²³, quantidade próxima daquela imposta pelo teorema central do limite para a existência de uma distribuição de probabilidade normal, hipótese básica da análise de regressão (Lindgren, 1976; Wonnacott e Wonnacott, 1990, Gujarati, 2000).

²² 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.

²³ A análise com séries temporais supõe a existência de um processo estocástico, do qual a série observada é apenas uma realização dentre infinitas possibilidades. Portanto, a realização efetiva seria análoga a uma amostra dentro de uma população.

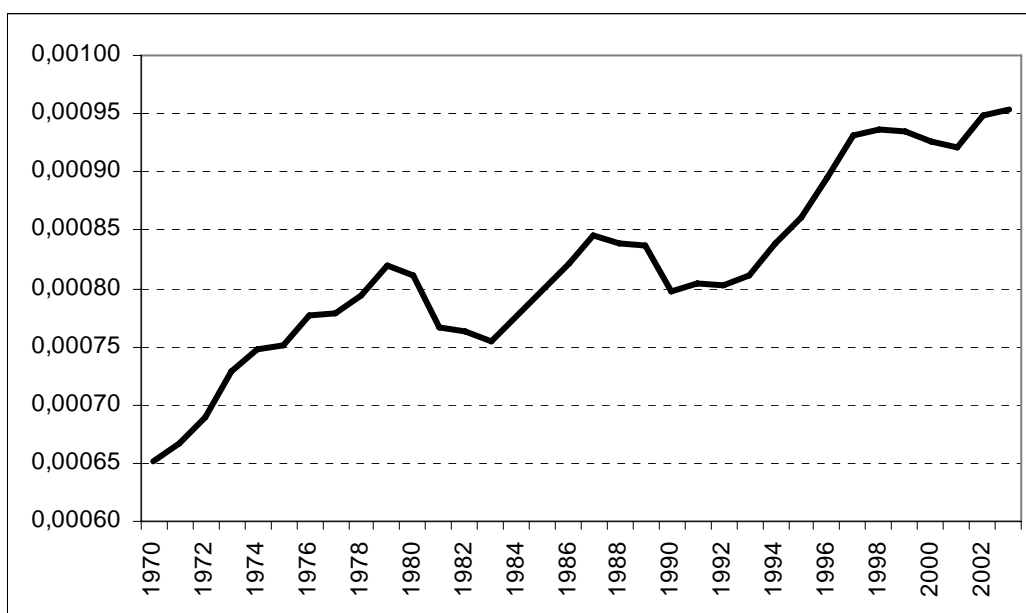
Uma das limitações geradas pelo pequeno número de observações na série da variável dependente é que a análise fica restrita a poucas variáveis explicativas. Isso é necessário, para que não se percam muitos graus de liberdade, o que aumentaria a variância e, conseqüentemente, diminuiria a significância estatística dos coeficientes estimados.

Ademais, um modelo é, por definição, uma simplificação da realidade, que, para ser perfeitamente descrita dentro de sua complexidade, necessitaria de um modelo tão complexo quanto ela própria. Isso seria de pouco uso prático. Fazendo valer o princípio da parcimônia, pelo qual o modelo deve ser mantido o mais simples possível, só serão utilizadas as variáveis explicativas de interesse teórico para a CKA e para as quais se têm dados disponíveis, isto é, a renda per capita e uma medida de abertura comercial. Embora a distribuição de renda seja relevante do ponto de vista teórico, não há, para ela, uma série objetiva anual desde 1970.

Como já mencionado, a primeira variável dependente a ser utilizada no presente estudo é o valor *per capita* do consumo final energético total brasileiro. Esses dados representam o consumo de energia final no país e diferem do consumo de energia primária em função das perdas de transmissão e transformação. Os valores *per capita* foram calculados a partir dos dados do BEN (MME, 2004) e da população residente, disponibilizada pelo IPEADATA (IPEA, 2005). A série pode ser visualizada no Gráfico **IV.1**.

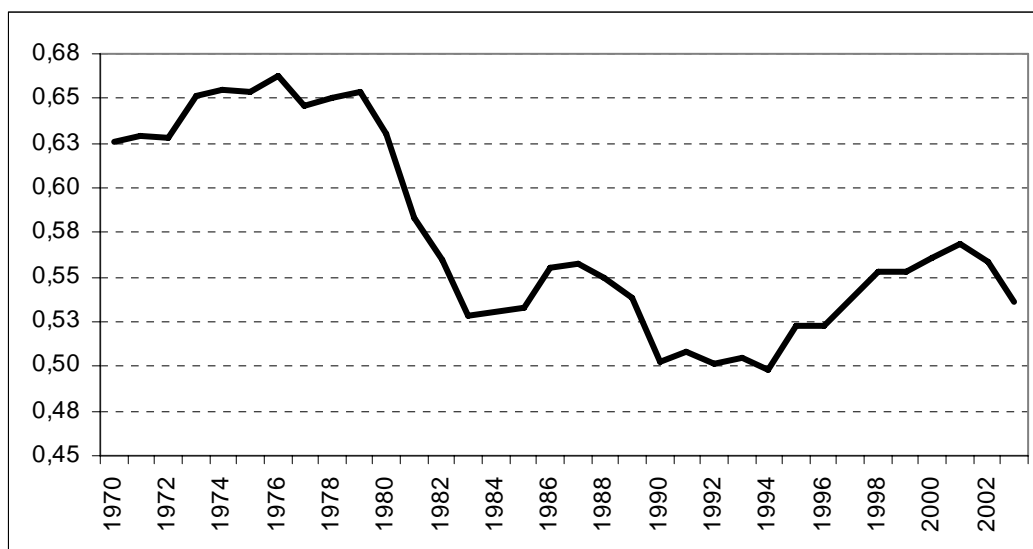
A segunda variável dependente são as emissões de CO₂ provenientes do consumo final energético de fontes emissoras²⁴, em termos *per capita*. Desconsidera-se, portanto, as emissões provenientes do desmatamento para fins que não o uso energético de carvão e lenha, assim como as emissões associadas às perdas na transformação e no transporte de energia. O Gráfico IV.2 mostra a evolução da série de emissões *per capita*:

Gráfico IV.1 – Evolução Consumo Final Energético Total no Brasil *per capita*
(tep/habitante)



Fontes: MME (2004), tabela 1.5; IPEA (2005)

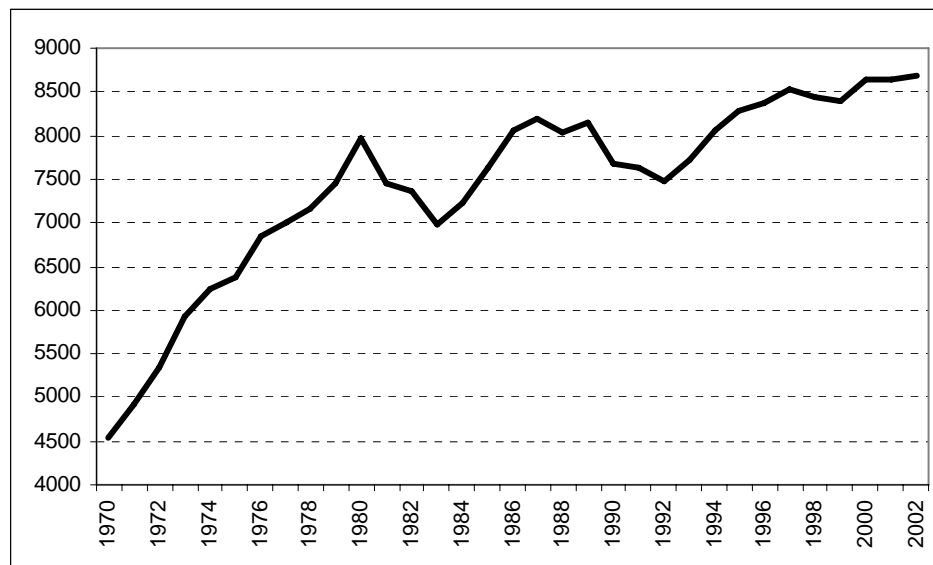
²⁴ Para maiores informações sobre o cálculo, ver Apêndice A.

Gráfico IV.2 – Evolução das Emissões de CO₂ Provenientes do Uso Energético no**Brasil per capita (ton C/habitante)**

Elaboração do autor a partir de dados do MME (2004) e IPEA (2005).

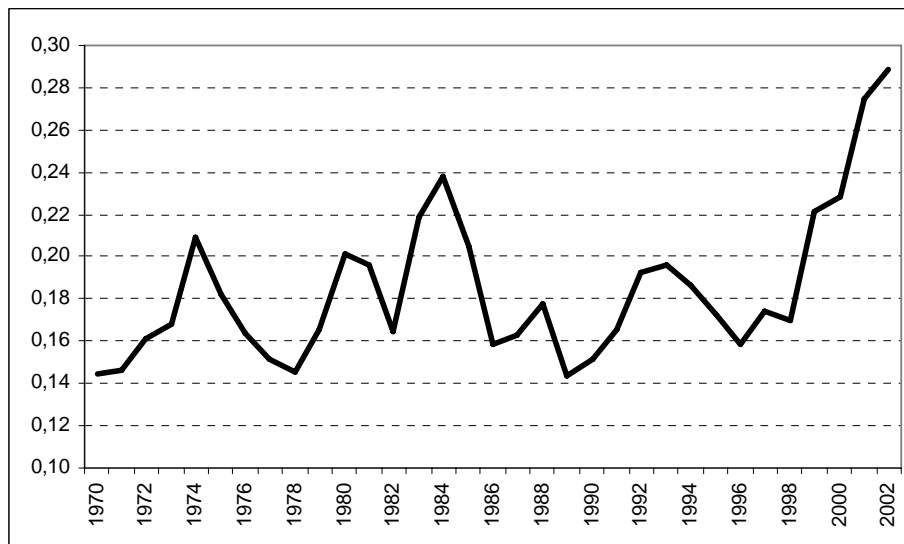
Apenas duas variáveis explicativas serão incluídas no modelo. Como anteriormente explicitado, o número limitado de observações não permite o uso de muitas variáveis. A primeira é a renda *per capita* real, variável chave para se testar a hipótese da CKA. Ela será medida através do PIB *per capita* em R\$ constantes de 2003. O Gráfico IV.3 mostra a evolução do PIB *per capita* nos últimos 30 anos.

Gráfico IV.3 – PIB *per capita* Brasileiro (R\$ de 2003)



Fonte: IPEA (2005)

A segunda é uma medida de abertura comercial, representada pelo volume de comércio (exportações mais importações) como proporção do PIB. Esta variável testa a hipótese de que uma maior inserção do comércio internacional na economia brasileira influencia, em algum grau, consumo energético e as emissões brasileiras do país. O Gráfico IV.4 ilustra como o volume de comércio como proporção do PIB evoluiu desde 1970.

Gráfico IV.4 – Evolução do Volume de Comércio como Proporção do PIB

Fonte: IPEA (2005)

A análise de regressão em séries temporais requer alguns cuidados antes de se começar a modelagem. Isso se deve à possibilidade de não-estacionariedade das séries estudadas. Diz-se que um processo estocástico é (fracamente) estacionário se sua média e variância forem constantes ao longo do tempo. Caso tais condições não sejam preenchidas, pode-se dizer que a série encontra-se fora de equilíbrio estatístico, impossibilitando a inferência sobre seus valores futuros. Uma regressão com variáveis não-estacionárias pode ter testes estatísticos que dêem validade ao modelo, mesmo que este não represente a verdadeira relação entre as variáveis mas, sim, somente uma tendência comum a elas – a chamada regressão espúria. Embora existam formas de se verificar se uma regressão é espúria, esse é um problema que se deve ter em mente quando se trabalha com séries temporais.

Uma análise preliminar dos gráficos expostos nesta seção demonstra indícios de que as séries não são estacionárias²⁵. Percebe-se que algumas séries (consumo energético *per capita* e PIB *per capita*) possuem uma tendência positiva. Esse comportamento impede que a média de um intervalo seja igual a de um outro. Nos outros casos (emissões de CO₂ *per capita* e volume de comércio como proporção do PIB), observam-se comportamentos diferentes em diferentes momentos das séries. Uma forma de corrigir esse problema é remover a tendência da série. Entretanto, isso só é possível caso a tendência seja determinística, ou seja, não varie ao longo do tempo. É comum em séries temporais, no entanto, a presença de quebras estruturais que afetam a tendência que a série segue. Percebe-se claramente, no caso do PIB *per capita* brasileiro (Gráfico IV.3) que a tendência positiva na década de 1970 difere da do período subsequente. O mesmo ocorre em outras séries. Sendo assim, uma solução fundada na remoção da tendência se faz desapropriada.

Regressões que utilizam séries temporais não estacionárias geralmente estão sujeitas à autocorrelação dos resíduos, ou seja, os resíduos da regressão estão estatisticamente relacionados entre si. Isso tende a ocorrer em função da inércia geralmente presente nas séries temporais. Num movimento ascendente, por exemplo, as observações em um certo ponto do tempo são maiores que seu valor anterior. Portanto, sucessivas observações tendem a gerar erros positivos e interdependentes. Na presença de autocorrelação, os coeficientes estimados pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários passam a não mais ser os mais eficientes (de menor variância) dentre as classes de

²⁵ No Apêndice D.3 mostra-se, formalmente, através do teste da raiz unitária, que as séries utilizadas não são estacionárias.

estimadores. Conseqüentemente, o intervalo de confiança tende a ser mais amplo, levantando a possibilidade de se aceitar um estimador falso (erro *tipo II*).

Alguns procedimentos podem ser utilizados para contornar o problema de não-estacionariedade das séries e de autocorrelação dos resíduos. Um é a possibilidade de cointegração, caso onde uma combinação linear de duas ou mais variáveis não-estacionárias é estacionária. Outra é o uso de diferenças ou taxas de variação no lugar das variáveis em nível. Uma terceira seria a transformação logarítmica, quando esta é estacionária. Por fim, o uso do método de estimação em diferença generalizada²⁶ é uma saída para tais problemas estatísticos. As especificações dos modelos apresentados na próxima seção incluirão os procedimentos acima mencionados na tentativa de se alcançar um bom resultado estatístico.

IV.3 – Procedimentos de trabalho

Nesta seção serão explicados de forma mais detalhada os procedimentos comentados na seção anterior. Serão testadas diferentes especificações na tentativa de se obter uma função de regressão que melhor represente a relação empírica entre a renda e o consumo energético/emissões de CO₂. Dessa forma, somente após a estimativa de diferentes especificações poderá se escolher o modelo mais adequado.

²⁶ Ver demonstração formal no Apêndice C.

A primeira e mais simples especificação é aquela utilizada por Grossman e Krueger (1991 e 1995), Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Selden e Song (1994)²⁷. As variáveis são regredidas em nível de acordo com a Equação IV.1 abaixo:

Equação IV.1:

$$E_t = \alpha + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \beta_4 VC_t + \mu_t$$

em que E representa as emissões de carbono ou o consumo energético em termos *per capita*; α é uma constante; Y é a renda per capita; VC é o volume de comércio; μ representa o erro estocástico; o subscrito t representa o ano.

Esse modelo é o mais simples e apropriado para se testar a existência de uma CKA para o Brasil, uma vez que estima diretamente a forma funcional proposta pela teoria. O termo cúbico será incluído para levar em conta a possibilidade de haver uma nova inflexão. Entretanto, essa especificação é, em princípio, passível de ser espúria, já que as variáveis não estão sendo tratadas para corrigir a não-estacionariedade. Um dos sintomas de uma regressão espúria é uma forte autocorrelação dos resíduos. Caso isso ocorra – no caso de não haver cointegração – a estimativa por diferenças generalizadas se faz necessária.

A segunda especificação utiliza operadores de diferença para contornar o problema da não-estacionariedade. Tais operadores podem ser tanto a variação na unidade original da variável (ela menos ela própria no período anterior) ou em termos relativos (variação percentual). Denomina-se uma série não-estacionária cuja primeira diferença é

²⁷ A análise em séries temporais, entretanto, faz com que o subscrito para país seja desnecessário.

estacionária uma série integrada de ordem 1. Optar-se-á pela variação percentual para que as variáveis possam ter unidades de medida comparáveis. A Equação **IV.2**, abaixo, mostra formalmente essa especificação.

Equação IV.2:

$$dE_t = \beta_1 dY_t + \beta_2 dVC_t + \mu_t$$

em que dE representa a variação percentual das emissões de carbono ou o consumo energético em termos *per capita*; dY é a variação percentual da renda per capita; dVC é a variação percentual do volume de comércio; μ representa o erro estocástico; o subscrito t representa o ano.

Não faz sentido, nessa especificação, o uso da segunda e terceira potência da renda, o que limita a capacidade do modelo de analisar a existência de uma CKA. Embora não seja possível testar a presença de um ponto de inflexão estimando a equação em diferenças, esta possui a vantagem de relacionar o crescimento econômico com o crescimento das emissões ou do consumo energético.

A terceira especificação utiliza a transformação logarítmica. Esse modelo é interessante pois, além dos coeficientes representarem a elasticidade, ele pode ser usado para calcular um possível ponto de inflexão. A equação **IV.3**, abaixo, ilustra o modelo, similar àquele usado por Suri e Chapman (1998), de Bruyn *et al.* (1998), Agravas e Chapman (1999), Heerink *et al.* (2001) e Cole (2004).

Equação IV.3:

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

onde E representa as emissões de carbono ou o consumo energético em termos *per capita*; α é uma constante; Y é a renda per capita; VC é o volume de comércio; μ representa o erro estocástico; o subscrito t representa o ano.

Por fim, a estimativa do modelo em diferença generalizada²⁸ pode ser uma saída para os possíveis problemas estatísticos acima levantados em um modelo qualquer. Basicamente, esse método de estimação elimina a autocorrelação ao incorporar no modelo um elemento de correção que compense a inércia captada nas perturbações. Supondo que os resíduos estejam relacionados aos seus valores passados num esquema auto-regressivo de primeira ordem – AR(1) – conforme aquele ilustrado pela Equação IV.4, pode-se estimar um modelo onde os ruídos ε estão livres de autocorrelação (chamados ruídos brancos²⁹). Uma vez estimada a Equação IV.4, é possível incorporá-la ao modelo original eliminando, assim, a autocorrelação dos resíduos³⁰.

²⁸ A denominação “diferenças generalizadas” é aquela utilizada por Gujarati (2000).

²⁹ Ruídos brancos são aqueles que têm valor esperado igual a zero, variância constante e ausência de autocorrelação.

³⁰ Para uma demonstração completa do modelo em diferença generalizada, ver apêndice C.

Equação IV.4:

$$\mu_t = \rho \mu_{t-1} + \varepsilon_t$$

em que μ_t representa o erro de um modelo qualquer no ano t (como a Equação IV.1, por exemplo); μ_{t-1} é o valor do erro no ano precedente; ρ representa o coeficiente autorregressivo, que deve ser, em módulo, menor que 1; ε são os novos ruídos do modelo.

Tendo apresentado os procedimentos metodológicos que serão usados para estimar a CKA para o Brasil, passemos ao capítulo seguinte que apresenta os resultados obtidos para cada uma das equações acima e onde serão expostas as especificações que melhor representam, estatisticamente, a relação estudada.

CAPÍTULO V – Estimativa da CKA para o Brasil: Resultados

O atual capítulo consiste na apresentação e avaliação das estimativas da CKA para o Brasil. Serão reportados todos os passos e os motivos que levaram a escolha ou o descarte de cada especificação apresentada no capítulo anterior. Por conveniência, alguns testes estatísticos complementares encontram-se no Apêndice **D**. Serão explicitadas, neste capítulo, apenas algumas estimativas escolhidas. A primeira seção discorre sobre alguns aspectos estatísticos a serem examinados. A segunda apresenta os resultados das estimativas.

V.1 – Considerações Estatísticas

Um aspecto recorrente em séries temporais é a presença de quebras estruturais. Uma forma de compensar tais quebras é a utilização de variáveis *dummy* para certos períodos³¹. Essas variáveis permitem dividir a amostra sem que se percam observações, através do uso de uma variável binária que assume o valor *zero* (fora do período escolhido) ou *um* (dentro do período escolhido). Sendo assim, essas variáveis podem ajudar a adaptar o modelo às mudanças ocorridas nas séries ao longo do tempo. Existem dois tipos de variáveis *dummy*. O primeiro (*dummy* de intercepto) é regredido como uma variável separada, alterando o intercepto (α) no período escolhido. O segundo tipo (*dummy* de inclinação) é regredido junto com uma das variáveis explicativas, alterando seu coeficiente (inclinação) dentro do período em questão³². A vantagem do segundo é que sua influência no modelo está limitada a uma das variáveis explicativas, permitindo corrigir aspectos particulares de uma única série temporal, enquanto o primeiro tipo afeta a função de regressão múltipla como um todo. Isso ocorre, pois o valor do coeficiente da *dummy* de intercepto indica quanto, na média, os valores para a variável dependente no período designado são maiores (menores) do que nos demais períodos, *ceteris paribus*. Já a *dummy* de inclinação indica quanto o coeficiente estimado para uma variável explicativa difere em um determinado período.

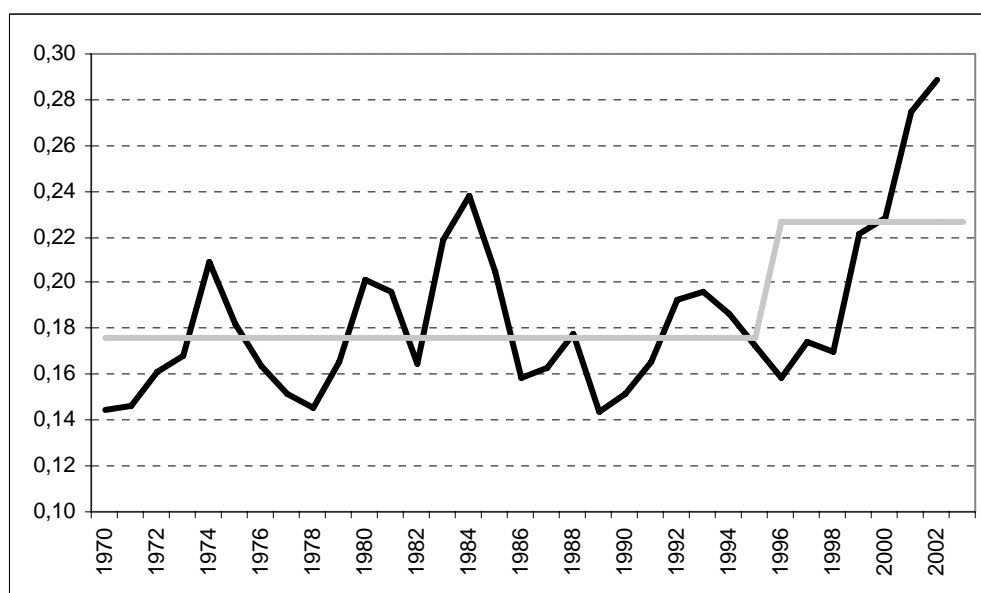
Será testada no modelo uma variável *dummy* de inclinação para o volume de comércio. Uma análise da evolução da série – apresentada no gráfico V.1, abaixo – mostra

³¹ Diferentemente de dados seccionais, onde a variável *dummy* é usada para incorporar informações qualitativas ao modelo.

³² O Apêndice B apresenta uma demonstração formal do uso deste tipo de variável *dummy*.

que o volume de comércio como proporção do PIB oscila em torno de uma média de 0,176 entre 1970 e 1995. A partir de então, a série começa a ter uma tendência ascendente, não só elevando sua média para 0,227, mas também mudando seu comportamento. Em vista da quebra estrutural presente nesta série temporal, será testado uma *dummy* de inclinação para o período que vai de 1996 até 2003³³.

Gráfico V.1 – Evolução do Volume de Comércio como Proporção do PIB



Fonte: IPEA (2005)

Não foi considerada uma *dummy* para a renda *per capita* já que as quebras estruturais presentes nesta série temporal coincidem com aquelas observadas nas séries das variáveis dependentes, como foi visto no capítulo anterior. Corrigir tais quebras anularia a possibilidade das séries serem cointegráveis.

³³ Cabe ressaltar que a definição desta quebra estrutural está mais relacionada com o comportamento da série temporal do que com questões teóricas ou históricas a respeito das exportações e importações brasileiras.

Os cálculos das estimativas serão realizados pelo pacote computacional Eviews, versão 3.1. Os resultados das estimativas, assim como de alguns testes estatísticos complementares, são mostrados no Apêndice **D** do presente trabalho, na forma como são apresentados pelo programa. Serão enfatizados, nesta análise, a significância estatística dos parâmetros estimados e testes de autocorrelação dos resíduos, em especial o teste Durbin-Watson (DW).

Uma abordagem para testar a significância estatística de um estimador é o teste *t*. Este teste de significância utiliza os resultados da amostra para verificar a validade de uma hipótese nula. No caso da análise de regressão, a hipótese nula é de que o coeficiente estimado é igual a zero, ou seja, que as variáveis explicativas não afetam a variável dependente. Aceita-se essa hipótese (com 95% de certeza) se a estatística *t* possui valor, em módulo, menor do que aproximadamente 2. Portanto, como regra prática, é preciso que tal estatística tenha valores acima de 2, em módulo, para se aceitar um estimador³⁴. Uma abordagem alternativa, porém similar, é o uso do *p-valor*. Esse número, que também é reportado nas estimativas feitas pelo pacote econométrico Eviews, representa o mais baixo nível de significância com o qual a hipótese nula pode ser rejeitada. Em outras palavras, ele representa a probabilidade de se cometer um erro *Tipo I*: rejeitar a hipótese nula sendo ela verdadeira. Geralmente, um nível de significância de 5% é o suficiente para validar estatisticamente um coeficiente. Portanto um *p-valor* menor que 0,05 satisfaz as condições para se aceitar um estimador.

³⁴ Supondo um número de graus de liberdade superior a 20 e um nível de significância de 5%.

A autocorrelação dos resíduos pode ser um problema para a validade dos coeficientes estimados para uma função de regressão. Desta forma, é preciso testar os resultados para averiguar se há, de fato, autocorrelação nos resíduos. O teste mais difundido com esse fim é o teste Durbin-Watson (DW). Ele é automaticamente reportado junto com as demais estatísticas teste já mencionadas e testa a hipótese de que existe autocorrelação de primeira ordem nos resíduos, tal qual descrito pela equação **IV.4**. Uma desvantagem do teste DW é que sua distribuição de probabilidade depende das observações das variáveis explicativas. Esse problema, porém, é contornado através do uso de duas distribuições limites – inferior e superior, onde estão contidas todas as possibilidades – para as quais os valores críticos foram calculados e tabulados³⁵. Como consequência, existe um intervalo onde o resultado do teste é inconclusivo, fazendo com que outros procedimentos sejam necessários para averiguar a presença de autocorrelação. Outro problema do teste DW é que ele é enviesado para a aceitação da hipótese de ausência de autocorrelação se existem valores defasados da variável dependente entre as variáveis explicativas, como é o caso do modelo em diferença generalizada. Portanto, serão feitos, complementarmente, a análise das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial (Kenedy, 1998; Gujarati, 2000; E-Views, 2005).

V.2 – Apresentação e Avaliação Estatística dos Resultados

Esta seção apresenta as estimativas feitas para as especificações propostas no capítulo anterior para testar a hipótese da CKA para o Brasil. Primeiramente, na subseção

³⁵ Wonnacott (1990), página 780 e outros livros texto de econometria mostram esses valores.

V.2.1, serão sumarizadas aquelas que não obtiveram resultados satisfatórios. As funções de regressão escolhidas são expostas na subsecção seguinte, enquanto a última sumariza os resultados.

V.2.1 – Especificações Descartadas

Duas das especificações consideradas no capítulo anterior não obtiveram bons resultados: a equação em diferenças (equação IV.2) e a equação em logaritmo (equação IV.3). A Tabela V.1 sumariza alguns resultados, onde as estimativas dessas duas especificações são expostas para cada uma das variáveis dependentes – Consumo Energético (CE) *per capita* e CO₂ *per capita*. As linhas dessa tabela representam uma equação, mostrando o coeficiente estimado e a estatística *t* logo abaixo entre colchetes. Na coluna AR(1) é mostrado o valor de ρ (equação IV.4) para os casos onde a regressão foi feita em diferenças generalizadas. As duas últimas colunas mostram o coeficiente de determinação (R^2) e a estatística Durbin-Watson (e sua interpretação, abaixo), respectivamente.

Tabela V.1 – Resultados para as Especificações em Diferenças e em Logaritmo

		α	Log(Y)	Log(Y)2	Log(Y)3	Log(VC)	dY	dVC	Dummy - VC 1996 - 2003	AR(1) ρ	R2	DW
dCE/cap	eq.1						0,476829 [7,30] ***	0,00011 [0,005]			0,5507	1,1926 I
	eq.2						0,476814 [7,43] ***				0,5507	1,1928 I
	eq.3						0,476891 [7,31] ***		-0,006583 [-0,15]		0,5510	1,1930 I
dCO2/cap	eq.1						0,350997 [3,96] ***	-0,029976 [-1,04]			0,3640	0,8273 R
	eq.2						0,348604 [3,93] ***		0,041369 [1,06]		0,3650	0,8735 R
	eq.3						0,355202 [4,00] ***				0,3410	0,8341 R
Log(CE/cap)	eq.1	-2299,78 [-3,94] ***	789,9798 [3,95] ***	-90,7618 [-3,98] ***	3,48 [4,02] ***	0,004774 [0,18]					0,9468	0,8990 R
	eq.2	-2333,52 [-4,30] ***	801,53 [4,31] **	-92,08 [-4,35] ***	3,53 [4,38] ***						0,9467	0,9148 R
	eq.3	-55,27 [-0,09]	17,69 [0,08]	-2,21 [-0,09]	0,093224 [0,10]	0,007446 [0,29]			0,94492 [9,08] ***		0,9685	1,2849 I
Log(CO2/cap)	eq.1	-3791,28 [-2,03] *	1.292,68 [2,02] *	-146,86 [-2,01] *	5,56 [2,01] *	-0,049083 [-0,62]					0,4592	0,3693 R
	eq.2	-3384,88 [-1,95] *	1153,44 [1,95] *	-130,95 [-1,94] *	4,95 [1,93] *						0,4521	0,3811 R
	eq.3		-3,89 [-1,01]	0,77 [0,89]	-0,04 [0,43]				0,90423 [28,46] ***		0,9603	1,7668 A

* : estatisticamente significativa a 10%

** : estatisticamente significativa a 5%

*** : estatisticamente significativa a 1%

DW: R - Rejeita-se Ho (a 1%) - presença de autocorrelação

I - Inconclusivo

A - Aceita-se Ho (a 1%) - ausência de autocorrelação

As equações estimadas em taxas de variação, como especificado pela equação IV.2, obtiveram coeficientes estatisticamente significantes para crescimento percentual do PIB *per capita* (dY). Já os coeficientes estimados para a variação do volume de comércio como proporção do PIB (dVC e Dummy - VC) não obtiveram boas estatísticas *t*. Embora os coeficientes para dY sejam estatisticamente significantes a 1%, os testes DW, no entanto, ou apresentam evidências de autocorrelação de primeira ordem nos resíduos ou são inconclusivos. Em nenhuma das estimativas o coeficiente de determinação R^2 foi alto, indicando um baixo poder explicativo para o modelo. Em função desses problemas escolheu-se descartar os resultados obtidos para essa especificação.

As equações em logaritmo têm fortes indícios de serem espúrias. Embora na maioria dos casos as estatísticas *t* indiquem significância estatística e o R^2 tenha sido alto, os testes DW apresentam evidências fortes de autocorrelação dos resíduos. A tentativa de

estimar o modelo em diferenças generalizadas não melhorou os resultados. Foram descartadas, portanto, as estimativas feitas em logaritmo conforme a especificação da equação IV.3.

V.2.2 – Resultados Finais

As melhores estimativas foram aquelas feitas a partir da equação IV.1. Foi necessário, entretanto, que as equações fossem estimadas em diferença generalizada para corrigir a autocorrelação de primeira ordem dos resíduos. A vantagem de se obter resultados estatisticamente bons para essa especificação é que, por ter uma forma funcional simples, a interpretação e análise dos resultados se torna fácil e comparável à hipótese da CKA. A tabela V.2 ilustra, nos moldes da tabela V.1, a evolução das estimativas, a cada passo, até se chegar àquela que melhor descreve estatisticamente a relação estudada. A equação de regressão escolhida é apresentada na última linha (em destaque) para cada variável dependente.

Em nenhuma das tentativas a constante (α) foi estatisticamente significativa. Mais do que isso, sua inclusão prejudicou a estimativa das demais variáveis explicativas, acarretando na sua remoção do modelo. Observa-se, em todos os casos, que os estimadores para PIB *per capita* e suas potências se tornaram estatisticamente significantes somente após a constante ser removida da equação de regressão. O valor da constante pode ser interpretado como o efeito médio de todas as variáveis não incluídas no modelo sobre a variável dependente ou, em outras palavras, o valor esperado da variável

dependente quando todas as variáveis explicativas forem iguais a zero. Isso leva a crer que as variáveis explicativas inseridas na análise de regressão são as principais forças por trás do comportamento da variável dependente.

Tabela V.2 – Evolução dos Resultados Finais

		α	Y	Y2	Y3	VC	Dummy - VC 1996 - 2003	AR(1) ρ	R2	DW
CE/cap	eq.1	-0,000576 [-0,84]	0,0000 [1,66]	0,0000 [-1,51]	3,85E-15 [1,50]	-0,000239 [-2,53]**	0,000313 [4,56]***		0,9718	1,3001 I
	eq.2		2,69E-07 [14,55]***	-3,40E-11 [-6,07]***	1,74E-15 [4,17]***	-0,000235 [-2,51]**	0,000344 [5,95]***		0,9710	1,2502 I
	eq.3		2,36E-07 [3,60]***	-2,75E-11 [-1,60]	1,39E-15 [1,22]	-2,59E-05 [-0,26]	0,000239 [3,40]***	0,644163 [4,25]***	0,9739	1,4914 I
	eq.4		2,27E-07 [3,30]***	-2,55E-11 [-1,41]	1,27E-15 [1,06]		0,00023 [3,58]***	0,670469 [4,84]***	0,9739	1,4821 I
	eq.5		1,51E-07 [15,88]***	-5,91E-12 [-4,93]***			0,00024 [3,40]***	0,73326 [8,48]***	0,9732	1,5738 A
CO2/cap	eq.1	-2,86 [-1,44]	0,0016 [1,739]*	-0,0000002 [-1,66]	1,14E-11 [1,54]	-0,355796 [-1,34]	0,198384 [1,01]		0,5152	0,5096 R
	eq.2		0,000282 [5,11]***	-3,27E-08 [-1,96]*	8,59E-13 [0,69]	-0,356624 [-1,32]	0,344645 [2,01]*		0,4792	0,5560 R
	eq.3		0,000224 [21,35]***	-1,97E-08 [-13,95]***			0,29754 [3,09]***		0,4277	0,5949 R
	eq.4		0,000076 [3,96]***	-2,04E-09 [-1,22]			0,018829 [0,26]	0,929556 [34,59]***	0,9571	1,6659 A
	eq.5		0,000053 [7,64]***					0,946479 [49,16]***	0,9548	1,7291 A

* : estatisticamente significativa a 10%

** : estatisticamente significativa a 5%

*** : estatisticamente significativa a 1%

DW: R - Rejeita-se Ho (a 1%) - presença de autocorrelação

I - Inconclusivo

A - Aceita-se Ho (a 1%) - ausência de autocorrelação

Um problema recorrente nas estimativas iniciais, tais como especificadas na equação IV.1, foi a autocorrelação dos resíduos. Embora o teste DW só tenha reconhecido esse problema no caso das emissões de carbono *per capita* (**CO2/cap**), onde a hipótese nula de ausência de autocorrelação foi rejeitada a um nível de significância de 1%, a análise do correlograma dos resíduos para o consumo energético (**CE/cap**) – para o qual o teste DW foi inconclusivo – demonstra que existe correlação de primeira ordem nos resíduos (ver Apêndice D). Fez-se necessário, portanto, o uso de diferenças generalizadas nas estimativas finais. Tal procedimento contornou o problema da autocorrelação dos

resíduos, como indica os valores das estatísticas dos testes DW e as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial (Apêndice **D**).

Ressalta-se também a importância da variável *dummy* para volume de comércio nos anos de 1996 a 2003 no caso de consumo energético (**CE/cap**). Além de ter sido altamente significativa sua remoção fez com que o modelo se deteriorasse a ponto de perder todo seu poder explicativo. Essa melhora de comportamento do modelo em função da inclusão da *dummy* ressalta a importância estatística da variável de volume de comércio para os anos após 1996. Já no caso desta variável para todos os anos (**VC**), não se obteve uma relação que fosse válida do ponto de vista estatístico. Conclui-se, portanto, que o volume de comércio influenciou o consumo energético somente após 1996, quando passou a ter uma tendência ascendente.

Será comentado individualmente, a seguir, o resultado para cada variável dependente. No apêndice **D** do atual estudo encontram-se esses resultados como são expostos pelo programa Eviews, versão 3.1, assim como os testes estatísticos mencionados ao longo do texto.

V.2.2.1 – Resultado para Consumo Energético

A seguir é apresentada a função de regressão múltipla estimada para o consumo energético final *per capita* (equação **V.1**, abaixo). São reportados, além das estatísticas da

tabela V.2, o desvio padrão do estimador, seu intervalo de confiança de 95% e seu *p*-valor³⁶.

Equação V.1 – Função de Regressão Final para Consumo Energético *per capita*

$CE/cap_t = 1,51 \times 10^{-7} Y_t - 5,91 \times 10^{-12} Y_t^2 + 0,00024 \text{ Dummy9603}_t + \mu_t$			
<u>Desv. P:</u>	(9,54x10⁻⁹)	(1,2 x10⁻¹²)	(6,16 x10⁻⁵)
<u>I.C. 95%:</u>	(± 1,95x10⁻⁸)	(± 2,44x10⁻¹²)	(± 1,26x10⁻⁴)
<u>Estat.- t:</u>	(15,88)	(-4,93)	(3,40)
<u>P-valor:</u>	(0,000)	(0,000)	(0,000)
$\mu_t = 0,73 \mu_{t-1} + \varepsilon_t$			
<u>Desv. Padrão:</u>	(0,086)		
<u>I.C. 95%:</u>	(± 0,175)		
<u>Estat.- t:</u>	(8,48)		
<u>P-valor:</u>	(0,000)		
<u>R²: 0,97</u>			
<u>Estadística Durbin-Watson: 1,5738 (ausência de autocorrelação)</u>			

Na função de regressão múltipla estimada para o consumo energético *per capita* (**CE/cap**) os resíduos não são correlacionados, como mostra o teste DW e o correlograma exposto no apêndice **D**. Todos os coeficientes são estatisticamente significantes a níveis de significância menores que 0,1%. O coeficiente de determinação é bastante alto (acima de 95%), embora isso seja esperado, devido ao método de estimação em diferenças

³⁶ Números inferiores a 0,1% são exibidos como 0,000.

generalizadas, que inclui um termo autoregressivo para a variável dependente (ver demonstração no Apêndice C).

A equação estimada apresenta o formato descrito pela hipótese da CKA, com o coeficiente positivo para Y e negativo para Y^2 (ver figura V.1). Calculando o ponto de inflexão dessa equação, chega-se a um nível de renda de R\$ 12.775, bastante acima dos atuais³⁷ R\$ 8 565. Ou seja, o ponto de inflexão se encontra fora do universo amostral.

Na estimativa para consumo energético *per capita*, o volume de comércio como proporção do PIB mostrou ter uma influência positiva para os anos após 1996. No caso, essa variável apresentou significância do ponto de vista estatístico para um coeficiente positivo, levando a conclusão de que a maior participação do comércio exterior após 1996 levou a um aumento no consumo energético por habitante no Brasil.

V.2.2.2 – Resultado para Emissões de Carbono

As funções de regressão múltipla estimadas para as emissões de carbono *per capita* são apresentadas de forma mais completa na equação V.2. Assim como nos resultados para consumo final energético, é mostrado o desvio padrão, o intervalo de confiança a 95% e o *p-valor*.

³⁷ Valor para 2003, último ano da série temporal utilizada.

Equação V.2 – Função de Regressão Final para Emissões de CO₂ per capita

CO₂/cap_t = 0,000053 Y_t + μ_t	
<u>Desv. Padrão:</u>	(0,00000689)
<u>I.C. 95%:</u>	(± 0,0000141)
<u>Estat.- t:</u>	(7,64)
<u>P-valor:</u>	(0,000)
μ_t = 0,94 μ_{t-1} + ε_t	
<u>Desv. Padrão:</u>	(0,019)
<u>I.C. 95%:</u>	(± 0,038760)
<u>Estat.- t:</u>	(49,16)
<u>P-valor:</u>	(0,000)
<u>R²: 0,95</u>	
<u>Estatística Durbin-Watson: 1,7291 (ausência de correlação)</u>	

A função de regressão apresenta resultados estatisticamente consistentes. Os coeficientes são significantes do ponto de vista estatístico, a estatística DW e o correlograma (ver apêndice **D**) apontam para a ausência de autocorrelação e o coeficiente de determinação R² é alto, como se espera de um modelo em diferenças generalizadas.

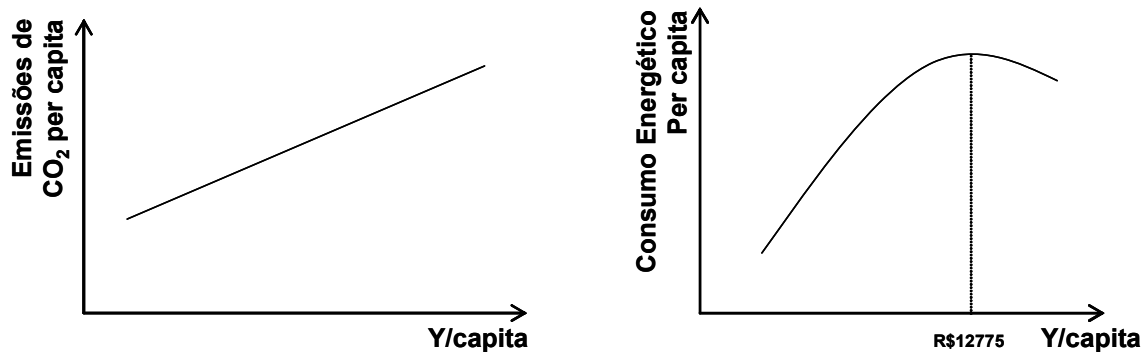
Diferentemente do modelo estimado para consumo energético final, aquele feito com emissões de CO₂ per capita (CO₂/cap) como variável dependente não revelou qualquer relação estatística com o volume de comércio para os anos após 1996 (**Dummy9603**). O volume de comércio para todo o período amostral (VC) tampouco revelou um resultado bom. A tabela **V.2** mostra que os coeficientes estimados para essas variáveis não tinham significância estatística e foram, conseqüentemente, removidos.

Os termos quadrático e cúbico não foram aceitos estatisticamente à 5% nos dois modelos baseados nas emissões de CO₂. Sendo assim, a função de regressão descreve uma relação linear positiva entre as emissões de CO₂ *per capita* e a renda *per capita*, conforme mostrado na figura V.1. Mais especificamente, um aumento real unitário no PIB *per capita* brasileiro eleva, na média, as emissões de CO₂ deste país em 0,000053 toneladas de carbono por habitante. Note que a magnitude dos coeficientes depende da escala em que as variáveis são medidas (as séries temporais são exibidas no apêndice B, para referência).

V.2.3 – Sumarização dos Resultados Estatísticos

A figura V.1 ilustra o formato das funções de regressão estimadas para o consumo final energético e as emissões de CO₂ advindas deste.

Figura V.1 – Formatos das Funções de Regressão Estimadas



Sumarizando os resultados obtidos através da análise de regressão múltipla realizada neste estudo, ressaltam-se os seguintes pontos:

- Das especificações levantadas no capítulo anterior, apenas aquela em nível apresentou resultados satisfatórios. As especificações em diferenças e em logaritmo foram descartadas.
- Os modelos tiveram que ser estimados em diferenças generalizadas para contornar o obstáculo gerado pela autocorrelação dos resíduos. Tal método obteve sucesso em ambos os casos no que diz respeito à remoção da autocorrelação encontrada ao regressar as variáveis em nível por Mínimos Quadrados Ordinários.
- Os formatos descritos pelas funções de regressão múltipla para a relação das variáveis dependentes com a renda *per capita* variam (Figura V.1). No caso do consumo energético final encontrou-se um formato como aquele descrito pela CKA, dentro do qual o Brasil estaria no período de estabilização, antes do ponto de inflexão. Não se deve, todavia, considerar este ponto como o nível preciso de renda onde ocorre o descolamento em vista do fato dele estar fora do universo amostral. O modelo indica, somente, que o consumo de energia final *per capita* no Brasil tem seguido uma trajetória de estabilização. Já para as emissões de CO₂ advindas do consumo final de fontes emissoras, a relação encontrada foi linear e positiva.
- O volume de comércio como proporção do PIB para os anos após 1996 desempenhou um papel importante na estabilização do modelo para consumo energético final *per capita*. Chama-se atenção para o sinal positivo de seu estimador, levando à conclusão de que uma maior participação do comércio na

economia brasileira após 1996 teve um efeito positivo no consumo energético *per capita*. Tal relação, porém, não obteve significância estatística para as emissões de CO₂ por habitante.

- Cabe ressaltar o pequeno número de observações na amostra.

CAPÍTULO VI – Considerações Finais

Este capítulo discorre sobre as limitações e dificuldades que foram encontradas ao longo da realização deste trabalho. A partir delas, são sugeridas possibilidades de desenvolvimentos futuros para aumentar o conhecimento sobre o tema. Esse é o assunto da primeira seção. As conclusões alcançadas neste esforço são expostas na seção seguinte.

VI.1 – Limitações, Dificuldades Estatísticas e Perspectivas de Desenvolvimentos Futuros

Esta seção discorre sobre as limitações da tentativa de se avaliar a relação renda-impacto ambiental, no contexto da CKA, feita neste estudo. Essas limitações estão basicamente relacionadas à base de dados utilizada, à falta de continuidade no processo de desenvolvimento brasileiro e à metodologia empregada. Serão propostas, também, possibilidades de desenvolvimentos futuros a partir deste estudo.

As dimensões de impacto ambiental para as quais se investigou a existência de um padrão do tipo descrito pela CKA na literatura foram várias. Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Grossman e Krueger (1995), por exemplo, investigaram diversos indicadores de qualidade do ar e da água. Uma limitação desta pesquisa se deve à falta de uma base de dados longa e objetiva sobre os efeitos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Sendo assim, o objeto de estudo (i.e. impactos ambientais) está sub-representado por apenas uma dentre inúmeras dimensões de impactos da economia sobre o meio ambiente.

Tentou-se contornar essa falta de dados objetivos ao se utilizar na análise a variável consumo energético final como *proxy* para os impactos ambientais provenientes do uso da energia. Além das emissões de CO₂, que foram calculadas através do uso de coeficientes de emissão para a queima de combustíveis, o uso dessa *proxy* considera outros impactos advindos do uso da energia – como área alagada, emissões de outros poluentes atmosféricos, etc. Tendo em vista que, na composição da matriz energética brasileira, as fontes não emissoras de CO₂ representam uma parcela importante, essa variável é

complementar à análise exclusiva para esse poluente. Essa *proxy*, contudo, falha por não incorporar os avanços tecnológicos em controle de poluição.

Embora seja relevante estudar a relação entre as emissões de CO₂ e o nível de renda do país, seria interessante, também, investigar a relação do nível de renda brasileiro com poluentes atmosféricos de impacto local, tais como NO_x e SO_x, que foram aqueles para os quais se acharam uma CKA na literatura internacional. Não há, no entanto, uma base de dados para esses poluentes para o Brasil, tampouco uma que seja longa o suficiente para uso em uma análise de regressão em séries temporais.

Além da falta de dados específicos para certos tipos de poluentes, outro contratempo para a análise de séries temporais é a falta de séries com mais observações. Um número maior de observações aumenta a validade estatística dos resultados. Não foi incluída na análise, por exemplo, a desigualdade de renda, por não haver dados para anos anteriores a 1976 (o que diminuiria muito os graus de liberdade da análise). As próprias séries utilizadas no estudo estão limitadas a 33 observações. Poder-se-ia aumentar esse número, não necessariamente incluindo observações mais antigas, mas, também, aumentando a periodicidade das séries. O uso de dados trimestrais, por exemplo, quadruplicaria o número de observações, além de incluir informações sobre a sazonalidade dos dados. Porém, o BEN (MME, 2004) divulga apenas dados anuais.

Outra ressalva deve ser feita a respeito dos dados. Ao utilizar dados agregados para o Brasil, não são consideradas as disparidades regionais dentro do país. Sendo as emissões de CO₂ e o consumo energético distribuídos de maneira não uniforme dentro do território

nacional, a relação entre estes e a renda por habitante também difere entre regiões. Outro problema de agregação está na renda, que é mal distribuída entre a população. Poder-se-ia contornar esse último problema incluindo no modelo uma medida de desigualdade de renda, como o Coeficiente de Gini. Isso não foi possível, contudo, devido à falta de dados, como mencionado acima. Ressalta-se, então, a relevância de novos estudos futuros – havendo uma maior disponibilidade de informação – incorporarem variáveis explicativas que se mostraram relevantes na literatura internacional, de forma a obter resultados mais robustos e menos sujeitos a críticas relacionadas ao viés gerado pela omissão de variáveis. Nesse ponto, o pesquisador deve ter a sabedoria para balancear esse problema com a busca da parcimônia, necessária na modelagem econômica, em especial quando se tem poucas observações.

São pertinentes, nessa linha, a ampliação e diversificação do estudo, utilizando, por exemplo, outras medidas de renda (como renda doméstica), de comércio (como medidas de *quantum*, ao invés de valores), além de novas variáveis explicativas, como desigualdade de renda, dispersão geográfica da produção, variáveis sociais, etc. A verificação da relação encontrada neste trabalho para diferentes medidas das variáveis explicativas pode reforçar, ou contrapor-se, aos resultados, contribuindo para o entendimento do tema.

Assim, a possibilidade de desenvolvimento futuro mais relevante para este estudo – e diversos outros – é a criação de uma base de dados sobre o meio ambiente para o Brasil. As pesquisas que contemplam a questão ambiental, em geral, são fortemente limitadas pela falta de dados objetivos, contínuos e comparáveis (ou pela falta absoluta de dados). A

criação de um sistema de dados e a ampliação daqueles já existentes possibilita não apenas a execução de estudos empíricos, mas também fornece base para a tomada de decisões de política e para o acompanhamento de metas e objetivos.

Outro desenvolvimento futuro interessante deste esforço é estimar uma CKA utilizando dados de painel ou seccionais para os estados brasileiros. Ao fazer isso, remover-se-ia o viés de agregação inerente a um país com grandes disparidades regionais como o Brasil.

O comportamento irregular das séries temporais utilizadas por este estudo é um fator de incerteza para os resultados encontrados. O uso de séries temporais conturbadas, como as que foram utilizadas nessa pesquisa, não só gera dificuldades na hora de estimar o modelo como, também, impede a extrapolação dos resultados para prever comportamentos futuros. O modelo capta a relação média entre as variáveis explicativas e a variável dependente dentro da amostra. Em função das variações de tendência, não é possível afirmar que a relação encontrada irá se perpetuar daquela forma, diferentemente do caso onde o comportamento das séries se mantém estável por longos períodos.

Essa irregularidade das séries é resultado dos diversos desdobramentos ocorridos ao longo da história do desenvolvimento brasileiro nas últimas três décadas³⁸. Nos últimos trinta anos, o Brasil atravessou duas crises do petróleo, conviveu com a hiperinflação e vários planos para estabilizá-la, realizou a abertura comercial no governo Collor; mudou

³⁸ A análise de tais desdobramentos não cabe dentro do escopo deste capítulo. Para maiores referências ver: Castro e Souza (1985), Lago (1989), Lago (1992), Carneiro (1990), Carneiro e Modiano (1990) e Modiano (1990), Miranda (2001) e Pinheiro *et al.* (2001)

de moeda e acabou com a hiperinflação, mudou de regimes de câmbio – do fixo, após o plano Real, para o flexível, após 1999 – e privatizou várias empresas estatais. Enfim, passou por diversas mudanças estruturais que geram empecilhos para qualquer tentativa de análise quantitativa, como a conduzida neste estudo. Mesmo métodos estatísticos compensatórios, como variáveis *dummy*, não são capazes de incorporar todas as mudanças ocorridas na economia brasileira nos últimos 30 anos. Portanto, é preciso ter em mente que inúmeros fatores que tiveram influência na relação estudada não foram explicitados no modelo, por falta de dados, pela necessidade de ser parcimonioso ou até mesmo pela incapacidade da metodologia de assimilar tais efeitos. Espera-se, no futuro, ter uma maior regularidade em vista do “amadurecimento” da economia brasileira, possibilitando estudos mais confiáveis a respeito da relação da CKA.

As limitações da metodologia empregada já foram discutidas nos Capítulos **II** e **III**. Ressalta-se a incapacidade do modelo em identificar as causas por trás da relação por ele descrita. Além disso, por mais significantes que os resultados sejam do ponto de vista estatístico, eles não devem ser interpretados como uma relação inequívoca de causa-efeito – o chamado determinismo da renda (Unruh e Moomaw, 1998). Tampouco se deve usar o modelo para fazer estimativas pontuais, em vista do pequeno número de observações e do comportamento irregular das séries temporais. Seu papel é descritivo, indicando o quanto as variáveis dependentes variaram, em média, em função das mudanças nas variáveis explicativas.

Desta forma, é relevante que novos estudos investiguem as causas que regem a relação encontrada neste trabalho para que se tenha uma visão mais completa das possibilidades de políticas que direcionem o país para o desenvolvimento sustentável.

Por fim, ressalta-se a necessidade de acompanhamento da relação entre o consumo final de energia e a renda para verificar se a trajetória até hoje trilhada pelo Brasil realmente segue o padrão vislumbrado pela CKA, ou se ela irá se reverter. A atualização deste trabalho, em alguns anos, poderia ser utilizada para comparar o ponto de inflexão estimado aqui com um (ou ausência de um) futuro, aumentando a informação que temos a respeito de uma possível CKA para o Brasil. Considerando os indícios de que a intensidade energética brasileira voltou a crescer a partir de 1996, como foi visto no Capítulo III, torna-se maior a incerteza quanto a uma inflexão. Uma investigação dos motivos por trás desse aumento pode ser útil na busca do descolamento entre o desenvolvimento e o consumo energético normalizado pela população.

Sendo o presente estudo uma iniciativa pioneira na estimação da CKA para o Brasil, espera-se, com ele, não só contribuir para o entendimento dessa questão, mas também fornecer um ponto de partida para investigações posteriores.

VI.2 – 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 conseqüências 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, especialmente os desse segundo grupo.

Motivado pela possibilidade de verificar essa hipótese para o Brasil, este estudo visou estimar econometricamente uma CKA usando consumo energético final – e as emissões de CO₂ provenientes dele – como medida de pressão ambiental, na tentativa de avaliar se esta hipótese se aplica ao caso brasileiro. No esforço de cumprir com este

objetivo, buscou-se, no Capítulo **II**, apresentar e discutir as questões teóricas e metodológicas envolvendo a Hipótese da CKA, além de fazer uma resenha de trabalhos que tentaram estimá-la. Duas críticas em especial receberam maior atenção neste estudo. A primeira, mencionada acima, diz respeito à extrapolação dos resultados encontrados para um conjunto de países (em sua maioria de renda alta) para outros que não alcançaram o mesmo estágio de desenvolvimento econômico. A segunda crítica refere-se ao comércio internacional como um possível causador do “descolamento”. A partir dela, tentou-se captar a influência do comércio sobre relação renda-consumo energético final ao incluir-se na análise a participação do comércio na economia brasileira.

Fundamental para um estudo sobre um país específico é entender seu processo de desenvolvimento. Portanto, uma análise desse processo e da evolução do padrão de consumo de energia final no Brasil – objeto de estudo deste trabalho – foi feita no Capítulo **III**. Mostrou-se que o Brasil, ao longo dos últimos 30 anos, vivenciou períodos de crescimento distintos: muito acelerado na década de 1970; estagnação na década de 1980; crescimento moderado com reformas estruturais na década de 1990. No que diz respeito ao uso de energia, no período estudado, a intensidade energética brasileira caiu (ao longo da década de 1970) e houve grande aumento no consumo de derivados, apesar das crises do petróleo. Ao considerar a influência do comércio externo sobre o uso de energia, concluiu-se que a especialização comercial brasileira enfatizou produtos que são intensivos em energia.

As considerações metodológicas foram o assunto do Capítulo **IV**, onde, não só foi discutido o modelo e suas especificações, como também os dados utilizados nas estimativas.

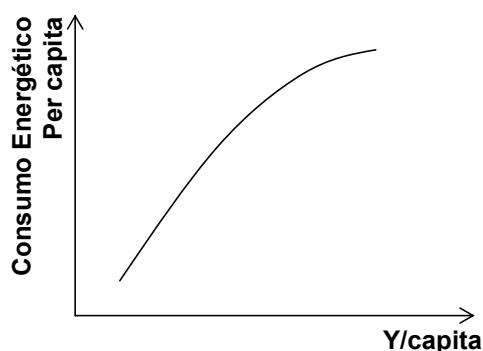
Os resultados da tarefa proposta neste estudo foram apresentados no Capítulo **V**. A função de regressão estimada para consumo energético final (equação **V.1**) descreve a relação entre a renda *per capita* brasileira e o consumo energético por habitante, como uma relação na forma de “U” invertido, na qual o Brasil se encontra antes do ponto de inflexão. Após passar por um estágio de desenvolvimento baseado numa alta intensidade energética, o país reduziu a quantidade de energia *per capita* gasta para gerar uma unidade de produto, por habitante³⁹. Portanto, a estimação da relação entre consumo energético final *per capita* e a renda *per capita* para o Brasil chegou a um resultado similar aos primeiros estágios de desenvolvimento propostos pela hipótese da CKA.

Embora a função de regressão estimada indique que o descolamento ocorre quando a renda *per capita* alcança R\$12775 (em R\$ de 2003), não se deve tomar esse ponto de inflexão como fato. Como já mencionado, 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 equação **V.1**, 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

³⁹ Isso está de acordo com a evidência proposta pelo gráfico **III.2**, onde a intensidade energética brasileira diminuiu drasticamente ao longo da década de 1970 para, então, se estabilizar.

amostral. Graficamente, seria mais apropriado interpretar os resultados como está representado na Figura VI.2, sendo a continuação da curva incerta. Não há como afirmar que a tendência captada pelo modelo não vá se reverter no futuro, como resultado de novos desdobramentos da economia brasileira. Na verdade, como foi visto no Capítulo III (gráfico III.2) já há indícios de um leve aumento na intensidade energética brasileira a partir de 1996. Além da possibilidade da inflexão, existe a chance de reversão da trajetória de estabilização, retornando a uma relação positiva crescente.

Figura VI.2 – Formato Proposto para a Interpretação da Equação V.1



A existência de um ponto de inflexão para o consumo energético *per capita* depende de uma combinação de acontecimentos improváveis com relação aos três efeitos levantados por Grossman e Krueger (1991). O efeito escala será sempre positivo. Mesmo compensando o crescimento populacional, o aumento de produção para elevar o bem estar material do habitante médio necessariamente leva ao aumento do consumo energético, *ceteris paribus*. Ou seja, o descolamento deve ocorrer em função dos outros dois efeitos, técnico 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 diminuírem sua produção em termos absolutos. Esta

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-intensivos⁴⁰.

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. O volume de comércio como proporção do PIB funciona como tal medida, uma vez que, em teoria, a liberalização eleva a participação do comércio internacional em uma economia. Embora o processo de abertura comercial brasileiro tenha começado no final dos anos 1980 e no início dos anos 1990, o volume de comércio, definido como a soma das importações e exportações, 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 um crescimento contínuo do volume de comércio em relação ao PIB. A variável *dummy* de intercepto para os anos após 1996 (**Dummy9603**) 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 possuem 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 1996⁴¹. Embora

⁴⁰ Repare que essa “solução” não pode ser empregada em um nível global, já que não haveria mais para onde transferir as atividades intensivas em energia.

⁴¹ Esse resultado é consistente com a avaliação da especialização comercial brasileira, que enfatiza produtos energo-intensivos, como foi visto no Capítulo III.

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 que merece a atenção de estudos futuros.

Quanto ao resultado para CO₂, exposto pela equação V.2, apenas se confirma, para o Brasil, aquilo que foi observado em estudos internacionais sobre a hipótese da CKA para CO₂, onde não foram encontradas evidências consistentes que confirmem essa relação (IBRD, 1992; Holtz-Eaking e Selden, 1995; Tucker, 1995; Robers e Grimes, 1997; Unruh e Moomaw, 1998; Dinda, 2001; Cole, 2004).

Para CO₂ não se encontrou uma relação estatisticamente relevante com a medida de abertura comercial utilizada, provavelmente em função da relativamente baixa participação de derivados de petróleo no consumo energético industrial após os choques do petróleo e as conseqüentes políticas de substituição.

Ao compararem-se os resultados para consumo energético e para as emissões de CO₂ proveniente deste, observa-se que os formatos das funções de regressão estimadas são distintos. Embora a equação V.1 mostre que, por habitante, o consumo energético marginal é decrescente quando a renda aumenta – i.e. cada incremento na renda *per capita* gera um consumo energético por habitante cada vez menor – as emissões de CO₂ por habitante, como mostra a equação V.2, não seguem o mesmo padrão. Ao contrário, as emissões deste poluente crescem linearmente junto com a renda. Em outras palavras, embora tenha se usado menos energia por habitante conforme a renda deste aumenta – o

que corresponderia a um estágio intermediário da CKA, antes da inflexão – a energia utilizada é cada vez mais suja em termos de CO₂. Como se mostrou no Capítulo III, no período de análise, o consumo de derivados de petróleo se destacou pelo crescimento e pela importância dentro da composição da matriz energética brasileira, o que pode explicar a divergência entre as estimativas para consumo energético final e para as emissões de CO₂ advindas deste.

Em vista dos resultados apresentados e suas limitações, a resposta à questão de se a CKA se aplica ao caso brasileiro não é conclusiva. No caso de CO₂, 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 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 investigada⁴².

Em função das limitações relacionadas ao número limitado de observações, ao viés gerado pela escolha das variáveis – e da quebra estrutural – e o comportamento irregular das séries temporais, a maior contribuição deste estudo é o tratamento metodológico utilizado para abordar a questão – inédito para o Brasil – e não o resultado numérico obtido.

⁴² Diferentemente de se o ponto de inflexão estimado já estivesse sido alcançado, indicando que a CKA se aplica ao Brasil.

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 CO₂ têm crescido monotonicamente 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. 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 resolver a vulnerabilidade externa do país como, também, a diminuir a intensidade energética de suas exportações.

Por fim, ainda que não seja possível, através da evidência apresentada neste trabalho afirmar que ocorrerá o descolamento, há indícios de que o país está no caminho certo. Isso, entretanto, não garante que ele ocorrerá espontaneamente, como resultado do crescimento econômico, em função de limitações estatísticas. Portanto, cabe, aqui, enfatizar a importância de políticas de conservação de energia e de incentivos a melhoras técnicas na produção. Além destes, 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.

Embora tenha havido, no Brasil e no mundo, um movimento de ênfase no mercado como promotor do desenvolvimento, a proteção do meio ambiente é uma área onde a intervenção do governo é fundamental. Os mercados privados, por si só, não têm muitos incentivos⁴³ para a prevenção de poluição ou para o uso racional de recursos para os quais não há definição clara dos direitos de propriedade. O papel governamental na correção dessa falha de mercado, por sua vez, é regido pelo *trade off* entre os custos ambientais e os benefícios gerados pelo crescimento econômico. Por exemplo, as crescentes exportações brasileiras dão ao Brasil, hoje, uma posição menos vulnerável às crises internacionais, além de ter papel fundamental no crescimento, na geração de empregos e na redução da pobreza. Pelo outro lado, como foi visto, a especialização comercial brasileira enfatiza produtos energia-intensivos, o que reflete em maiores pressões sobre o meio ambiente. Numa realidade onde a avaliação dos impactos ambientais é complicada por fatores físicos e ecológicos, assim como pela natureza de longo prazo de seus efeitos, e onde os benefícios são facilmente percebidos, ressalta-se a importância de ampliar o conhecimento sobre as implicações das atividades humanas sobre o meio ambiente, para que a solução desse dilema seja cada vez mais clara.

⁴³ Exceções seriam empresas que se utilizam do “marketing verde”, adotando padrões ambientais como aspectos de diferenciação de seus produtos.

Referências Bibliográficas

- ABREU, M. P. (org.), 1992, *A Ordem do Progresso: Cem Anos de Política Econômica Republicana, 1889-1989*. Rio de Janeiro: ed. Campus.
- AGRAS, J. e CHAPMAN, D., 1999 “A dynamic approach to the Environmental Kuznets Curve hypothesis”, *Ecological Economics*, v. 28, pp. 267-277.
- AMS, 2005, Associação Mineira de Silvicultura, Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: janeiro, 2005.
- 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”. In: STERN, D. I., 2004, “The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve”, *World Development*, v. 32, n. 8, pp. 1419 – 1439.
- BCB, 2005, Banco de Informações Econômicas e Financeiras, Banco Central do Brasil – Séries Temporais, Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/series/port/>>. Acesso em: junho, 2005.
- BHATTARAI, M., HAMMIG, M., 2001, “Institutions and the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: a Crosscountry Analysis for Latin America, Africa and Asia”, *World Development*, v. 29, n. 6, pp. 995-1010.
- BECKERMAN, W., 1992, “Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?”. In: STERN, D. I., 2004, “The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve”, *World Development*, v. 32, n. 8, pp. 1419 – 1439.
- BIMONTE, S., 2002, “Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve”, *Ecological Economics*, v. 41, pp. 145 – 156.

- BIRDSALL, N., WHEELER, D., 1993, "Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where are the Pollution Havens?", *Journal of Environment and Development*, 2 (1), 137-149.
- BONELLI, R., VEIGA, P. M., BRITO, A. F., 1997, *As políticas Industrial e de Comércio Exterior no Brasil: Rumos e indefinições*. Rio de Janeiro: IPEA (texto de discussão, No 527).
- BONELLI, R., 2001, *Políticas de Competitividade Industrial no Brasil – 1995/2000*. Rio de Janeiro: IPEA (texto de discussão, No 810).
- CARNEIRO, D.D., 1992, "Crise e Esperança: 1974-1980". In: ABREU, M. P. (org.) *A Ordem do Progresso: Cem Anos de Política Econômica Republicana, 1889-1989*. Rio de Janeiro: ed. Campus, 1992.
- CARNEIRO, D.D., MODIANO, E., 1992, "Ajuste Externo e Desequilíbrio Interno: 1980-1984". In: ABREU, M. P. (org.), 1992, *A Ordem do Progresso: Cem Anos de Política Econômica Republicana, 1889-1989*. Rio de Janeiro: ed. Campus.
- CASTRO, A. B., SOUZA, F. E. P., 1985, *A Economia Brasileira em Marcha Forçada*, Rio de Janeiro, ed. Paz e Terra. In: MACHADO, G.V., 1996, *Modificações Recentes no Padrão de Uso de Energia na Indústria Brasileira Face à Inserção do País na Economia Mundial*, Dissertação de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 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.
- CROPPER, M., GRIFFITHS, C., 1994, “The interaction of population growth and environmental quality”, *American Economic Review* 84, 250–254.
- 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.
- DE BRUYN, S. M., OPSCHOOR, J. B., 1997, “Developments in the Throughput – Income Relationship: Theoretical and Empirical Observations. In: DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.
- DINDA, S., 2001, “A Note on Global EKC in Case of CO₂ Emission”. In: DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.
- DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.
- DINDA, S., COONDOO, D., PAL, M., 2004, “Air Quality and Economic Growth: An Empirical Study” In: DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.
- EIEWS, 2005, Help topics, versão 3.1.
- FRIEDL, B., GETZNER, M., 2003, “Determinants of CO₂ emissions in a small open economy”, *Ecological Economics*, v. 45, pp. 133-148.

- 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.
- GUJARATI, D. N., 2000, *Econometria Básica*, 3 ed., São Paulo, ed. Person Education do Brasil.
- HEERINK, N., MULATU, A., BULTE, E., 2001, “Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets curves”, *Ecological Economics*, v. 38, pp. 359 – 367.
- HENRIQUES JÚNIOR, M. F., 1995, *Uso de Energia na Indústria Energo-Intensiva Brasileira: Indicadores de Eficiência e Potencial de Economia de Energia*, Dissertação de M.Sc. PPE/COPPE/UFRJ.
- HOLTZ-EAKIN, D. e SELDEN, T. M., 1995, “Stocking in fires? CO₂ emissions and economic growth”. In: *J. Public Econ.*, v. 57, pp. 85-101.
- IBRD, 1992, *World Development Report 1992: Development and the Environment*, New York, Oxford University Press
- IPEA, 2005, IPEADATA, Dados Macroeconômicos e Regionais, Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: janeiro, 2005.

- JAFFE, A. B., PETERSON, S. R., STAVINS, R. N., 1995, “Environmental regulation and the competitiveness of US manufacturing: what does the evidence tell us?.”, *Journal of Economic Literature*, v. 33, pp. 132-163.
- JANICKE, M., BINDER, M., MONCH, H., 1997, “‘Dirty industries’ : patterns of change in industrial countries”, *Environmental and Resource Economics*, v. 9. pp. 467-491.
- JAYADEVAPPA, R., CHHATRE, S., 2000, “International Trade and Environmental Quality: a survey”, *Ecological Economics*, v. 32, 175 – 194.
- KAUFMANN, R. K., DAVIDSDOTTIR, B., GARNHAM, S., PAULY, P., 1998, “The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve”, *Economical Economics*, v. 25, pp. 209-220.
- KENNEDY, P., 1998, *A Guide to Econometrics*, 4th Edition. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- KOOP, G. e TOLE, L., 1999, “Is there an environmental Kuznets curve for deforestation?” *Journal of Development Economics*, v.58, pp. 231 – 244.
- KRUGMAN, P., OBSTFELD, M., 2001, *Economia Internacional, Teoria e Política*, 5^a Ed. São Paulo, MAKRON Books.
- KUZNETS, S., 1955, “Economic Growth and Income Inequality”, *American Economic Review*, 49, pp. 1 – 28.
- LAGO, L. A. C., 1989, “Uma Revisão do Período do “Milagre”: Política Econômica e Crescimento, 1967-1973”, Departamento de Economia, PUC/RJ, mimeo. In: ABREU, M. P. (org.), 1992, *A Ordem do Progresso: Cem Anos de Política Econômica Republicana, 1889-1989*. Rio de Janeiro, ed. Campus.

- LAGO, L. A. C., 1992, “A Retomada do Crescimento e as Distorções do ‘Milagre’: 1967-1973”. In: ABREU, M. P. (org.), 1992, *A Ordem do Progresso: Cem Anos de Política Econômica Republicana, 1889-1989*. Rio de Janeiro, ed. Campus.
- LEITE, A. DIAS, 1997, *A Energia do Brasil*, Rio de Janeiro, ed. Nova Fronteira.
- LENZEN, M., WIER, M., COHEN, C., HAYAMI, H., PACHAURI, S., SCHAEFFER, R., 2005, “A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan”, *Energy*, v. 20, n. 40, pp. 1-27. .
- LINDGREN, B. W., 1976, *Statistical Theory*, In: WONNACOTT, T. H., WONNACOTT, R. J., 1990, *Introductory Statistics for Business and Economics*, ed. John Wiley & Sons.
- MACHADO, G. V., SCHAEFFER, R., 1995, “A Inserção do Brasil na Nova Ordem Internacional: uma nova ordem energética mundial?”, *Revista Brasileira de Energia*, v. 4, n. 1.
- MACHADO, G. V., SCHAEFFER, R., 2005, Chapter 5: “Energy and Economic Development”. In: IAEA (org.). *Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- MACHADO, G. V., 1996, *Modificações Recentes no Padrão de Uso de Energia na Indústria Brasileira Face à Inserção do País na Economia Mundial*, 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.

- MAGNANI, E., 2000, “The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution”, in *Ecological Economics*, v. 32, pp. 431-443.
- MAGNANI, E., 2001, “The Environmental Kuznets Curve: development path or policy result?”, *Environmental Modeling & Software*, v. 16, pp. 157-165.
- MANI, M., WHEELER, D., 1998, “In search of pollution havens? Dirty industry in the world economy, 1960-1995”, *Journal of Environment and Development*, v. 7, n. 3, pp. 215-247.
- MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J., BEHRENS, W., 1972, *The Limits to Growth*. In: STERN, D. I., 2004, “The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve”, *World Development*, v. 32, n. 8, pp. 1419 – 1439.
- MEDEIROS, C. A., 1997, “Globalização e a Inserção Diferenciada da Ásia e da América Latina”. In: TAVARES, M., C., FIORI, J., L., *Poder e Dinheiro: Uma economia Política da Globalização*. Petrópolis: Vozes.
- 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.
- MOREIRA, M. M., CORREIA, P. G., 1998, “A First Look at the Impact of Trade Liberalization of Brazilian Manufacturing Industry”, *World Development*, v. 26. n. 10.

- MUENDLER, M., 2001, *Trade, Technology and productivity: a Study of Brazilian Manufacturers, 1986-1998*. Berkley: University of California.
- PASCHE, M., 2002, “Technical Progress, Structural Change and the Environmental Kuznets Curve”, *Ecological Economics*, v. 42, pp. 381 – 389.
- PEREIRA, T., CARVALHO, A., 1998, *Abertura Comercial, mark ups Setoriais Domésticos e rentabilidade Relativa das Exportações*. Brasília: IPEA.
- PINHEIRO, A. C., MOREIRA, M. M., 2000, “O Perfil dos Exportadores Brasileiros de Manufaturados nos Anos 90: quais implicações de política?”. In: VEIGA, P. M. (ed.) *O Brasil e os Desafios da Globalização*. Rio de Janeiro: Relume-Dumará.
- 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).
- OPSCHOOR, J. B., 1990, “Ecologische Duurzame Economische Ontwikkeling: Een Theoretisch indee em een Weerbarstige Praktijk”. In: 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 Curve”, *Ecological Economics*, v. 25, pp. 161 – 175.
- RICUPERO, R., 2000, “Há Futuro para o Comércio Exterior Brasileiro?”, *Revista Brasileira de Comércio Exterior*, 62 (1).
- ROBERS, J. T, GRIMES, P. K., 1997, “Carbon Intensity and Economic Development 1962-1991: a Brief Exploration of the Environmental Kuznets Curve”. In: DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.

- ROCA, J., ALCÁNTARA, V., 2001, “Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case”, *Energy Policy*, v. 29, pp. 553-556.
- ROTHMAN, D. S., 1998, “Environmental Kuznets curves – real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches”, *Ecological Economics*, v. 25, pp. 177 -194.
- ROTHMAN, D. S., DE BRUYN, S. M., 1998, “Probing into the Environmental Kuznets Curve Hypothesis”, *Ecological Economics*, v. 25, pp. 143 – 145.
- 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.
- SENGUPTA, R. P., 1997, “CO₂ Emission – Income Relationship: Policy Approach for Climate Control”. In: DINDA, S., 2004, “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a Survey”, *Ecological Economics*, v. 49, pp. 431 – 455.
- SHAFIK, N., 1994, “Economic development and environmental quality: an econometric analysis”, *Oxford Economic Papers* 46, 757–773.
- SHAFIK, N., BANDYOPADHYAY, S., 1992, “Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross Country-Evidence”, *World Bank Policy Research Working Paper*, WPS 904.
- SIEBERT, H., 1992, *Economics of the Environment*, Springer-Verlag, New York. In: JAYADEVAPPA, R., CHHATRE, S., 2000, “International Trade and Environmental Quality: a survey”, *Ecological Economics*, v. 32, pp. 175 – 194.

- SIMONIS, U. E., 1989, "Industrial Restructuring for Sustainable Development: Three Ponts of Departure". In: 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 Curve", *Ecological Economics*, v. 25, pp. 161 – 175.
- 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., 1998, "Progress on the Environmental Kuznets Curve?", *Environmental and Development Economics*, v. 3 n. 2, pp. 173 – 196.
- 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.
- TASKIN, F., ZAIM, O., 2001, "The role of international trade on environmental efficiency: a DEA approach", *Ecological Economics*, v. 18, pp. 1-17.
- TORRAS, M., BOYCE, J. K., 1998, "Income, inequality and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, v. 25, pp. 147 – 160.
- TUCKER, M., 1995, "Carbon dioxide emissions and global GDP", in: *Ecological Economics*, v. 15, n. 3, pp. 215-223.
- UNRUH, G. C., MOOMAW, W. R., 1998, "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics*, v. 25, pp. 221 – 229.

VEIGA, P. M., 2000, “As transformações na Indústria e o Desempenho das Exportações Brasileiras nos Anos 90”. In: VEIGA, P. M. (ed.) *O Brasil e os Desafios da Globalização*, Rio de Janeiro: Relume-Dumará.

WALTER, I., 1974, “International Trade and Resource Diversion: the Case of environmental management”, *Welt. Arch.* 110, 482 – 493. In: JAYADEVAPPA, R., CHHATRE, S., 2000, “International Trade and Environmental Quality: a survey”, *Ecological Economics*, v. 32, pp. 175 – 194.

WCED, 1987, *Nosso Futuro Comum*, Rio de Janeiro, FGV (1 Ed. Brasileira, 1988)

APÊNDICE A – Cálculo das Emissões de CO₂

A série histórica das emissões de CO₂ utilizada nesse estudo foi estimada a partir do consumo energético final, disponibilizado pelo Balanço Energético Nacional de 2004 (MME, 2004). Ela é uma estimativa que subestima as emissões brasileiras de gases de efeito estufa, pois: (1) usa o consumo final de energia, que é menor que o consumo total uma vez que não considera as perdas energéticas dos centros de transformação – como refinarias, por exemplo – e as perdas na transmissão de energia. Diferentemente de uma estimativa *bottom-up*, onde se parte do final da cadeia, incorporando as emissões dos estágios intermediários, as estimativas feitas no presente estudo não consideram as emissões dos estágios intermediários; (2) não inclui as emissões provenientes do desmatamento para fins não energéticos, como o gerado por queimadas, por exemplo. O desmatamento entra apenas no uso de carvão vegetal e lenha de florestas nativas para fins energéticos; (3) não inclui outros gases de efeito estufa que não CO₂; (4) deixa de lado as emissões geradas em processos industriais, exceto pelo uso de energia na indústria.

A tabela A.1 mostra o consumo energético final por fonte. Esses números foram obtidos a partir da tabela 1.5 do BEN (MME, 2004). O consumo de eletricidade foi decomposto de acordo com a fonte usada na geração – excluindo-se as fontes não emissoras: hidráulica, nuclear, eólica e outras fontes renováveis – conforme as tabelas 5.3 e 5.4 do BEN (MME, 2004).

Tabela A.1 - Consumo Energético Final por Fonte (10³tep)

Fonte	GAS NATURAL	CARVÃO MINERAL	LENHA	GÁS DE COQUE	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE (tab. 5.3 a 5.4 BEN)		CARVÃO VEGETAL	ALCANTRÃO	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMB.	GÁS COQUE	CARVÃO ALCOOL	GASOLINA	GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	MAFTA	QUEFROSENE	GÁS CANALIZADO	OUTRAS SECUNDARIAS DE PETRÓLEO	CONSUMO TOTAL FONTES EMISSORAS
						GÁS NAT.	CARVÃO/ALCOOL													
1970	68	88	28345	260	1182	0	485	1580	18	5393	9	1811	4615	7446	1367	0	1131	132	227	5523
1971	92	93	27915	262	1164	0	519	1811	17	5968	9	1911	4815	7446	1475	0	1223	135	529	5601
1972	107	94	27517	279	1265	0	552	2099	19	6828	9	2099	5028	8540	1631	55	1346	137	502	6110
1973	106	75	26998	313	1269	0	487	2227	18	8139	10	2227	5128	10515	1609	52	1550	144	619	6629
1974	204	106	26479	308	1309	0	467	2173	16	9025	10	2173	5298	11949	1627	52	1659	159	692	6940
1975	229	102	26290	472	1873	0	444	2073	22	10684	12	2073	5454	14679	1664	38	1792	168	778	7257
1976	415	92	26290	472	1873	0	444	2073	22	10684	12	2073	5454	14679	1664	38	1792	168	778	7257
1977	415	173	24070	559	2475	0	589	3063	31	12542	14	3063	6819	14791	2272	36	1951	199	1284	7691
1978	386	212	22879	589	2875	0	964	3195	32	13671	16	3195	7415	16015	2878	45	1986	212	1639	7894
1979	415	312	22236	648	3660	0	808	3691	29	14799	36	3691	8179	16792	2947	30	2233	224	1986	8204
1980	485	512	21862	668	3197	0	708	4272	39	15701	37	4272	8650	18210	3043	33	2101	227	1981	81405
1981	508	864	21645	586	2882	0	965	4067	48	15449	48	4067	8483	13036	3689	48	2284	241	1866	81405
1982	707	1302	20210	643	2860	0	934	4156	52	15918	52	4156	8083	12226	3864	2	2320	258	1842	77476
1983	825	1486	20209	767	3378	0	722	4724	61	15599	50	4724	6910	11299	3812	2	2243	273	2163	73888
1984	1009	1413	20946	1004	4440	0	828	5644	119	16127	56	5644	8605	12600	3774	12	2012	279	2378	76915
1985	1400	1521	19922	1140	4841	0	988	6122	114	17084	57	6122	9629	14414	4105	0	2076	306	2387	78205
1986	1680	1712	18022	1172	4846	0	1216	6324	105	18019	64	6324	10795	15015	4414	0	2207	306	2386	82305
1987	1834	1712	18349	1438	4846	0	1438	6324	105	18019	64	6324	10795	15015	4414	0	2207	306	2386	82305
1988	1983	1464	18949	1488	6255	2	1488	6255	82	19022	72	6255	10922	15015	4414	0	2150	321	2722	88176
1989	1957	1174	17187	1454	6169	69	1091	650	113	1811	113	650	1091	1210	320	113	2123	311	2745	86788
1990	2189	992	16586	1229	5132	76	962	705	95	6137	115	20944	9709	9606	8066	0	2109	280	2801	82786
1991	2167	1295	15375	1299	6152	82	1134	788	117	5402	156	27704	8941	8103	5689	0	2199	271	2764	84271
1992	2382	929	14650	1291	6239	155	1130	837	158	4881	215	22159	9568	8062	5889	0	2058	237	2848	84708
1993	2770	964	13802	1342	6997	158	1032	783	166	5256	220	22877	10272	8479	6005	0	2140	216	2938	86754
1994	2772	1118	13764	1379	6725	157	1100	664	835	5333	81	6244	10524	9286	6124	5	2168	141	3338	86648
1995	3089	1273	13045	1410	6808	187	1306	944	78	4854	97	7884	11239	11068	6494	30	2490	119	3489	94264
1996	3787	1752	12895	1410	6807	234	1385	891	74	28209	97	891	12047	12998	6842	11	2629	113	4099	100158
1997	4186	2101	12919	1382	6836	259	1400	1200	58	4379	97	22589	12301	14215	718	4	2931	108	5279	105394
1998	4305	2104	13286	1320	6836	341	1485	1223	58	4379	97	22589	12301	14215	718	4	3022	111	5279	107694
1999	4384	2048	13286	1320	6836	341	1485	1223	58	4379	97	22589	12301	14215	718	4	3022	111	5279	107694
2000	6384	2841	13927	1249	6896	897	2311	1584	75	28956	168	4814	13316	13316	7844	4	3189	85	8914	114580
2001	7582	2759	13869	1219	6327	2092	2291	1660	75	30619	181	4409	8469	13015	7742	4	3286	35	8894	116380
2002	9344	3019	14471	1178	6673	2682	1517	1294	78	31521	188	4615	8239	12466	7402	4	3161	26	8630	117914
2003	10205	3299	15234	1246	6705	2638	1577	1511	88	30812	132	4544	8239	12386	6990	0	2223	26	8634	118816

Fonte: BEN (2004), Tabela 1.5.5.3 e 5.4.

A partir da tabela A.1, acima, é possível calcular as emissões de CO₂ multiplicando o consumo energético de cada fonte pelo seu coeficiente de emissão, dado pela tabela A.2 abaixo:

Tabela A.2 – Coeficientes de Emissão de Carbono por Fontes

Fonte	Coeficiente de Emissão (Kg C/tep)
Gás Natural	691
Carvão Mineral	1166
Lenha	1473
Gás de Coqueria *	1235
Coque de Carvão Mineral	1333
Carvão Vegetal	882
Alcatrão **	954
Óleo Diesel	913
Óleo Combustível	954
Gasolina	854
GLP	777
Nafta	904
Querosene	881
Gas Canalizado	913
Outras Secundárias de Petróleo e C. Mineral	904

Fonte: BERJ (1994); * IPCC(1996)

** : Coeficiente de Óleo Combustível

No caso da lenha e do carvão vegetal, foi removida a proporção do consumo correspondente a florestas plantadas, uma vez que, nesse caso, a emissão líquida de CO₂ é nula. Para tal, foram utilizados dados da Associação Mineira de Silvicultura (AMS, 2005) para a parcela do consumo de carvão vegetal originário de floresta nativa (tabela A.3). Como a série começa em 1993, uma progressão contínua foi usada para estimar os números para os anos anteriores, até chegar a um máximo de 80% de desmatamento em 1970 (número fornecido por um especialista da AMS em entrevista). Deve ser ressaltado

que a extrapolação dessa proporção para a o consumo energético de lenha é uma generalização simplista, porém necessária. Principalmente na década de 1970, quando a lenha tinha uma participação importante na composição do consumo final energético brasileiro. Contudo, devido à falta de dados a respeito da real quantidade de lenha de origem de desmatamento, esses dados são os mais adequados.

Tabela A.3 – Proporção do Consumo de Carvão Vegetal Originário de Floresta

Nativa

Ano	%	Ano	%	Ano	%
1970	80,0	1982	66,7	1994	46,0
1971	78,8	1983	65,7	1995	48,0
1972	77,6	1984	64,7	1996	30,0
1973	76,5	1985	63,8	1997	24,6
1974	75,3	1986	62,8	1998	32,6
1975	74,2	1987	61,9	1999	30,0
1976	73,1	1988	60,9	2000	28,3
1977	72,0	1989	60,0	2001	31,8
1978	70,9	1990	59,1	2002	28,2
1979	68,8	1991	58,2	2003	26,1
1980	68,8	1992	57,4		
1981	67,7	1993	56,5		

Fonte: AMS

Dados 1970-1992: elaboração do autor a partir de informações de especialistas da área.

Multiplicando o consumo energético de cada fonte pelo coeficiente de emissão correspondente, considerando, para lenha e carvão vegetal apenas a proporção desmatada, obtiveram-se as emissões anuais para cada fonte. Somando todas as fontes chegou-se à emissão total para cada ano.

APÊNDICE B – Demonstrações Formais

B.1 – Modelo em Diferenças Generalizadas

O modelo estimado em diferenças generalizadas parte da hipótese de que os resíduos (μ) seguem um padrão autoregressivo de primeira ordem – AR(1) – como especificado pela equação **B.1.1**, abaixo, onde ε é um ruído não autocorrelacionado:

$$\mu_t = \rho \mu_{t-1} + \varepsilon_t$$

(Equação: B.1.1)

Se forem encontradas evidências desse padrão nos resíduos em um modelo, pode-se remover a autocorrelação através da inclusão da equação **B.1.1** no modelo. Supondo um modelo de regressão múltipla em séries temporais como o ilustrado pela equação **B.1.2**, no ano t :

$$E_t = \alpha + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \beta_4 VC_t + \mu_t$$

(Equação: B.1.2)

No ano anterior ($t-1$) o modelo seria:

$$E_{t-1} = \alpha + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-1}^2 + \beta_3 Y_{t-1}^3 + \beta_4 VC_{t-1} + \mu_{t-1}$$

(Equação: B.1.3)

Multiplicando **B.1.3** por ρ , temos:

$$\rho E_{t-1} = \rho \alpha + \rho \beta_1 Y_{t-1} + \rho \beta_2 Y_{t-1}^2 + \rho \beta_3 Y_{t-1}^3 + \rho \beta_4 VC_{t-1} + \rho \mu_{t-1}$$

(Equação: B.1.4)

Subtraindo **B.1.2** de **B.1.4**, temos:

$$E_t - \rho E_{t-1} = \alpha - \rho \alpha + \beta_1 Y_t - \rho \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_t^2 - \rho \beta_2 Y_{t-1}^2 + \beta_3 Y_t^3 - \rho \beta_3 Y_{t-1}^3 + \beta_4 VC_t - \rho \beta_4 VC_{t-1} + \mu_t - \rho \mu_{t-1}$$

(Equação: B.1.5)

Substituindo ε_t de **B.1.1** em **B.1.5** e arrumando a equação, chega-se a equação **B.1.6**, onde os resíduos ε estão livres de autocorrelação.

$$E_t = (1 - \rho) \alpha + \rho E_{t-1} + \beta_1 Y_t - (\rho \beta_1) Y_{t-1} + \beta_2 Y_t^2 - (\rho \beta_2) Y_{t-1}^2 + \beta_3 Y_t^3 - (\rho \beta_3) Y_{t-1}^3 + \beta_4 VC_t - (\rho \beta_4) VC_{t-1} + \varepsilon_t$$

(Equação: B.1.6)

B.2 – Dummies de Intercepto

Uma variável *Dummy* é, em sua essência, qualitativa. Isso fica evidente em modelos que usam dados seccionais, onde ela pode representar um aspecto qualitativo que seja binário, como sexo, por exemplo. Na análise de regressão em séries temporais, a

variável *dummy* é utilizada para designar um intervalo de tempo compreendido dentro do período amostral. Por exemplo, após o Plano Real, no caso de uma investigação sobre a inflação. A *dummy* de inclinação, como a utilizada neste estudo diferencia o coeficiente de uma variável explicativa dentro de um determinado período.

Suponha que, no modelo abaixo, queira-se testar se o coeficiente de uma variável difere entre dois períodos (período **a** e período **b**).

$$E_t = \alpha + \beta_1 X_t + \beta_2 Y_t + \beta_3 (D Y_t) + \mu_t$$

onde **E** é a variável dependente, **α** uma constante, **X** e **Y** as variáveis explicativas e **D** uma variável *dummy* que assume um valor 1 no período **a** e zero no período **b**. Nesse modelo, o coeficiente da variável **Y** é igual a **β_2** para o período **b** e igual a **$\beta_2 + \beta_3$** no período **a**. Se **β_3** não é estatisticamente significativa, então o coeficiente da variável **X** não difere entre os períodos **a** e **b**. Se **β_2** não é estatisticamente significativa, a variável **X** só tem efeito sobre a variável **E** no período **a**.

APÊNDICE C – Resultados das Estimativas e Testes Estatísticos

São apresentados nesse apêndice os resultados e correlograma para os modelos escolhidos, e para os testes mencionados ao longo do texto.

O correlograma mostra as funções de autocorrelação (AC) e autocorrelação parcial (PAC) dos resíduos até a décima sexta defasagem. É mostrado, graficamente o intervalo de confiança (de, aproximadamente, 95%) para a AC e PAC para a hipótese destes serem iguais a zero (não autocorrelacionados). Portanto, se não há autocorrelação nos resíduos, nenhum dos valores deve ultrapassar o intervalo de confiança ilustrado no gráfico.

O teste da raiz unitária é um meio de verificar a estacionariedade de uma série temporal. Na econometria, uma série temporal que tenha uma raiz unitária é conhecida como “caminho aleatório”, e é não estacionária⁴⁴. O teste mais utilizado para testar raiz unitária é o teste aumentado de Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller – ADF). O pacote econométrico E-views calcula esse teste, que foi realizado para testar a estacionariedade das séries temporais utilizadas na análise de regressão. Na presença de raiz unitária, a estatística teste ADF (em destaque nas tabelas **C.3** a **C.6**) é menor do que os valores críticos mostrados ao lado. Todas as séries apresentam a presença de raiz unitária a 1% de significância. O PIB *per capita* já não apresenta raiz unitária a 5%.

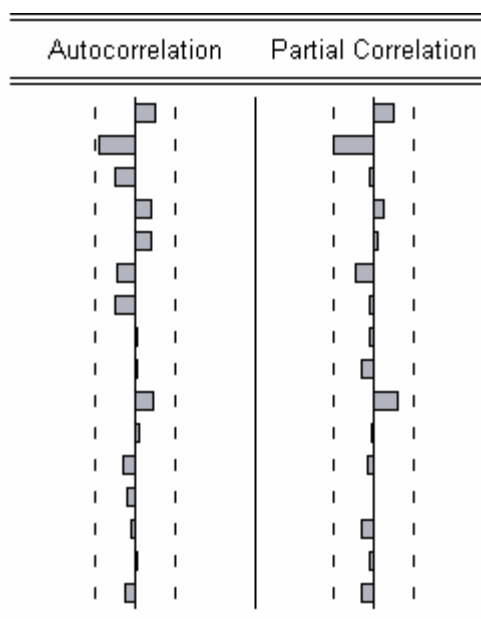
⁴⁴ Para uma demonstração ver Gujarati, 2000, pág.739.

C.1 – Estimativas e Correlogramas para os resultados Finais de Consumo Final Energético

Tabela C.1: Estimativa da Equação V.1:

Dependent Variable: CECAP				
Method: Least Squares				
Date: 06/02/05 Time: 15:22				
Sample(adjusted): 1971 2002				
Included observations: 32 after adjusting endpoints				
Convergence achieved after 6 iterations				
Variable	Coefficien t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Y	1.51E-07	9.54E-09	15.88059	0.0000
Y^2	-5.91E-12	1.20E-12	-4.932006	0.0000
DUMMY9603	0.000240	6.16E-05	3.898624	0.0006
AR(1)	0.733260	0.086487	8.478272	0.0000
R-squared	0.973203	Mean dependent var		0.000818
Adjusted R-squared	0.970332	S.D. dependent var		7.25E-05
S.E. of regression	1.25E-05	Akaike info criterion		-19.62829
Sum squared resid	4.36E-09	Schwarz criterion		-19.44507
Log likelihood	318.0526	Durbin-Watson stat		1.573790
Inverted AR Roots	.73			

Figura C.1: FAC e FACP para Equação V.1:

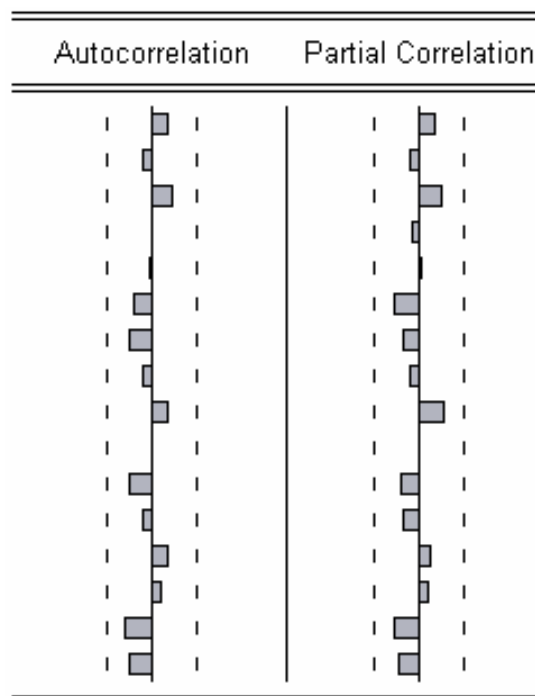


C.2 – Estimativas e Correlogramas para os resultados Finais de Emissões de CO₂

Tabela C.2: Estimativa da Equação V.2:

Dependent Variable: CO2CAP				
Method: Least Squares				
Date: 07/19/05 Time: 13:44				
Sample(adjusted): 1971 2003				
Included observations: 33 after adjusting endpoints				
Convergence achieved after 6 iterations				
Variable	Coefficien t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Y	5.27E-05	6.89E-06	7.645813	0.0000
AR(1)	0.946479	0.019253	49.16128	0.0000
R-squared	0.954754	Mean dependent var		0.570365
Adjusted R-squared	0.953295	S.D. dependent var		0.054676
S.E. of regression	0.011816	Akaike info criterion		-5.980006
Sum squared resid	0.004328	Schwarz criterion		-5.889309
Log likelihood	100.6701	Durbin-Watson stat		1.729114
Inverted AR Roots	.95			

Figura C.2: FAC e FACP para Equação V.2:



C.3 – Testes Mencionados ao Longo do Capítulo IV e V

Figura C.3: FAC e FACP para eq.1 para CE/cap (tabela V.2):

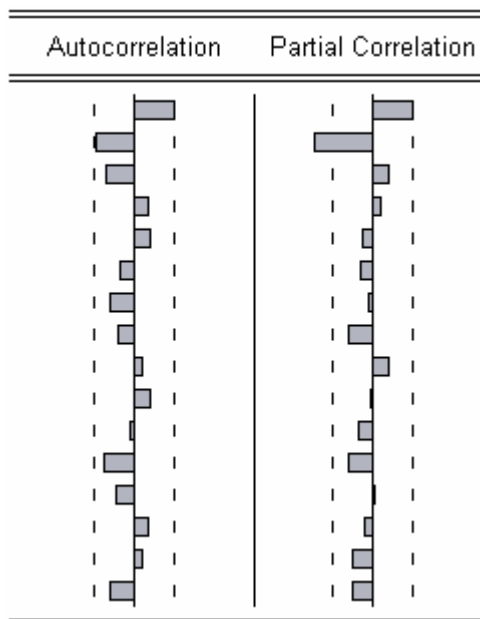


Figura C.4: FAC e FACP para eq.2 para CE/cap (tabela V.2):

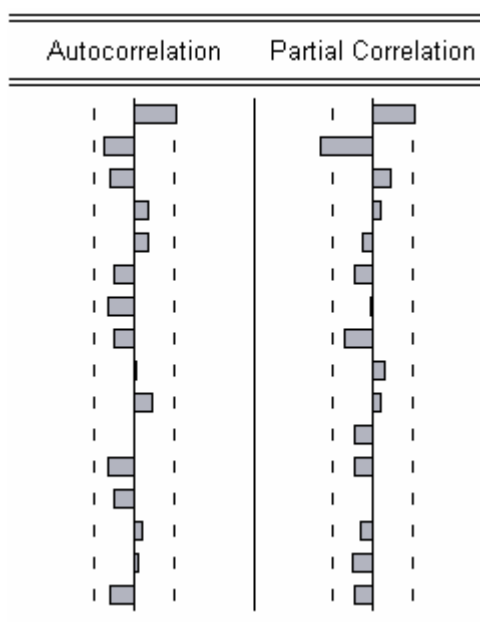


Figura C.5: FAC e FACP para eq.3 para CE/cap (tabela V.2):

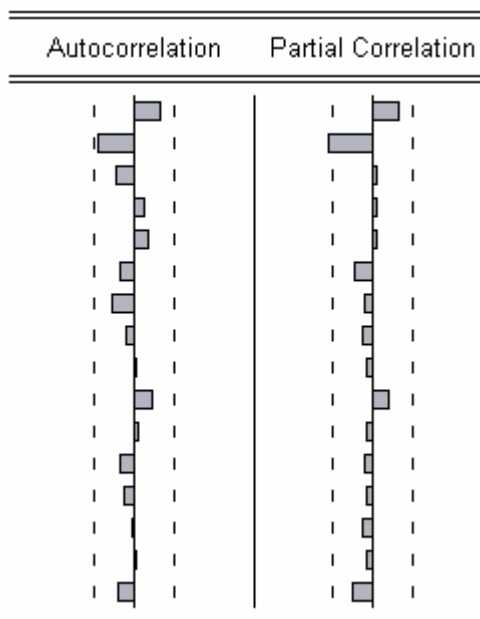


Figura C.6: FAC e FACP para eq.4 para CE/cap (tabela V.2):

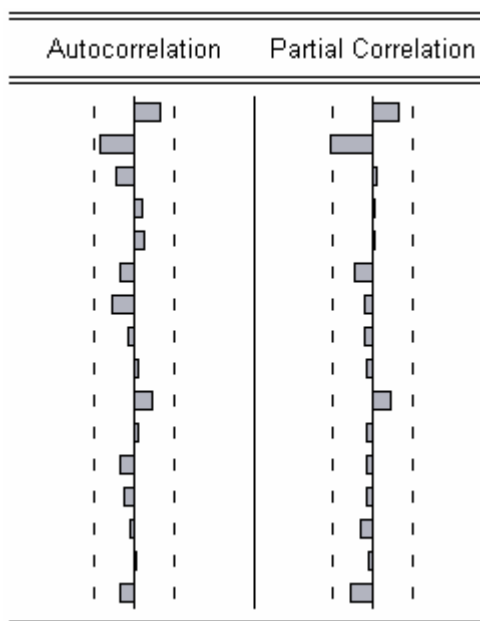


Tabela C.3: Teste de Raiz Unitária para Consumo Energético Final *per capita*:

ADF Test Statistic	-1.241367	1% Critical Value*	-3.6576	
		5% Critical Value	-2.9591	
		10% Critical Value	-2.6181	
*MacKinnon critical values for rejection of hypothesis of a unit root.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(CECAP)				
Method: Least Squares				
Date: 07/19/05 Time: 14:44				
Sample(adjusted): 1972 2002				
Included observations: 31 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CECAP(-1)	-0.060636	0.048846	-1.241367	0.2248
D(CECAP(-1))	0.383322	0.172267	2.225160	0.0343
C	5.51E-05	3.99E-05	1.378905	0.1788
R-squared	0.190084	Mean dependent var	9.06E-06	
Adjusted R-squared	0.132233	S.D. dependent var	2.00E-05	
S.E. of regression	1.86E-05	Akaike info criterion	-18.85286	
Sum squared resid	9.71E-09	Schwarz criterion	-18.71409	
Log likelihood	295.2194	F-statistic	3.285742	
Durbin-Watson stat	1.904722	Prob(F-statistic)	0.052259	

Tabela C.4: Teste de Raiz Unitária para Emissões de CO₂ *per capita*:

ADF Test Statistic	-1.372536	1% Critical Value*	-3.6496	
		5% Critical Value	-2.9558	
		10% Critical Value	-2.6164	
*MacKinnon critical values for rejection of hypothesis of a unit root.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(CO2CAP)				
Method: Least Squares				
Date: 07/19/05 Time: 14:49				
Sample(adjusted): 1972 2003				
Included observations: 32 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CO2CAP(-1)	-0.071135	0.051827	-1.372536	0.1804
D(CO2CAP(-1))	0.384976	0.172763	2.228344	0.0338
C	0.038563	0.029788	1.294609	0.2057
R-squared	0.178011	Mean dependent var	-0.002891	
Adjusted R-squared	0.121322	S.D. dependent var	0.016900	
S.E. of regression	0.015842	Akaike info criterion	-5.363226	
Sum squared resid	0.007278	Schwarz criterion	-5.225813	
Log likelihood	88.81161	F-statistic	3.140141	
Durbin-Watson stat	2.127225	Prob(F-statistic)	0.058285	

Tabela C.5: Teste de Raiz Unitária para PIB *per capita*:

ADF Test Statistic	-2.969074	1% Critical Value*	-3.6496	
		5% Critical Value	-2.9558	
		10% Critical Value	-2.6164	
*MacKinnon critical values for rejection of hypothesis of a unit root.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(Y)				
Method: Least Squares				
Date: 07/19/05 Time: 14:50				
Sample(adjusted): 1972 2003				
Included observations: 32 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Y(-1)	-0.138130	0.046523	-2.969074	0.0059
D(Y(-1))	0.145003	0.162955	0.889834	0.3809
C	1134.964	359.4106	3.157849	0.0037
R-squared	0.296369	Mean dependent var	113.9688	
Adjusted R-squared	0.247843	S.D. dependent var	271.6588	
S.E. of regression	235.6015	Akaike info criterion	13.85122	
Sum squared resid	1609734.	Schwarz criterion	13.98863	
Log likelihood	-218.6195	F-statistic	6.107395	
Durbin-Watson stat	2.034156	Prob(F-statistic)	0.006116	

Tabela C.6: Teste de Raiz Unitária para Volume de Comércio/PIB:

ADF Test Statistic	-1.300923	1% Critical Value*	-3.6496	
		5% Critical Value	-2.9558	
		10% Critical Value	-2.6164	
*MacKinnon critical values for rejection of hypothesis of a unit root.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(VC)				
Method: Least Squares				
Date: 07/19/05 Time: 14:50				
Sample(adjusted): 1972 2003				
Included observations: 32 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
VC(-1)	-0.196189	0.150808	-1.300923	0.2035
D(VC(-1))	0.212524	0.212183	1.001603	0.3248
C	0.040271	0.027881	1.444389	0.1593
R-squared	0.059357	Mean dependent var	0.004791	
Adjusted R-squared	-0.005514	S.D. dependent var	0.025338	
S.E. of regression	0.025408	Akaike info criterion	-4.418429	
Sum squared resid	0.018722	Schwarz criterion	-4.281017	
Log likelihood	73.69487	F-statistic	0.914994	
Durbin-Watson stat	1.946143	Prob(F-statistic)	0.411772	

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)