

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, USO DOS RECURSOS  
NATURAIS E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: UMA APLICAÇÃO  
DO MODELO EKC NO BRASIL**

**LUIZ FERNANDO OHARA KAMOGAWA**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências: Área de concentração: Economia Aplicada.

**PIRACICABA**

Estado de São Paulo – Brasil

Dezembro de 2003

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, USO DOS RECURSOS  
NATURAIS E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: UMA APLICAÇÃO  
DO MODELO EKC NO BRASIL**

**LUIZ FERNANDO OHARA KAMOGAWA**

Bacharel em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Dr. **RICARDO SHIROTA**

Dissertação apresentada à Escola Superior  
de Agricultura “Luiz de Queiroz”,  
Universidade de São Paulo, para obtenção  
do título de Mestre em Ciências: Área de  
concentração: Economia Aplicada.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo – Brasil  
Dezembro - 2003

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Kamogawa, Luiz Fernando Ohara  
Crescimento econômico, uso dos recursos naturais e degradação ambiental: Uma aplicação do modelo EKC no Brasil / Luiz Fernando Ohara Kamogawa. - - Piracicaba, 2003.  
121 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.  
Bibliografia.

1. Água (qualidade) 2. Consumo de energia elétrica 3. Crescimento Econômico 4. Degradação ambiental 5. Desenvolvimento Econômico 6. Recursos naturais (uso) I. Título

CDD 333.72

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

Aos meus Pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Ricardo Shirota por ter sido mais que um orientador um grande conselheiro e amigo em todos estes anos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) por tudo que ela fez em minha vida, o conhecimento transmitido, e a oportunidade dada. É uma honra poder ser “esalqueano” e tudo o que isso representa.

Aos professores Alexandre Lahóz Mendonça de Barros, Roberto de Arruda Lima e Sílvia Helena Galvão de Miranda pelas importantes sugestões e críticas feitas na parte final deste processo.

Aos demais professores do PG-Economia Aplicada.

À Maria Aparecida Maielli Travalini pela fundamental ajuda nos momentos essenciais.

À Ligiana do Carmo Clemente pela sua substancial ajuda na formatação do trabalho.

Aos meus pais pela educação, conhecimento e afeto concedidos em toda a minha vida. Tenham certeza que grande mérito deste trabalho é de vocês.

À Karen pelo seu apoio e companhia.

À minha irmã Juliana por sua alegria e carinho transmitidos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro dado para a conclusão deste estudo.

Aos amigos e quase irmãos, Alexandre Vargha do Amaral, Luiz Antônio Rodriguez de Souza, Marcos Hamamura e Jum Tabata.

À todos os meus colegas do PPG-Economia Aplicada pelo companheirismo e ajuda nestes últimos anos.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
RESUMEN.....	xx
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Crescimento econômico e degradação ambiental.....	3
1.2 Objetivos.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Crescimento econômico.....	7
2.2 Recursos naturais e ambientais.....	9
2.3 Degradação e depreciação do meio-ambiente.....	10
2.4 Indicadores de qualidade Ambiental.....	11
2.4.1 Água e a qualidade ambiental.....	12
2.4.1.1 Água no Brasil.....	14
2.4.1.2 Água doce no Brasil: aspectos legais.....	17
2.4.1.3 Água doce no Estado de São Paulo: aspectos legais.....	18
2.4.2 Energia e a qualidade ambiental.....	19
2.4.2.1 O problema do consumo de energia.....	21
2.4.2.2 Energia no Brasil.....	23
2.5 Modelo EKC ( <i>Environmental Kuznets Curve</i> ).....	26

2.5.1	Alterações na produção.....	28
2.5.2	Alterações na estrutura de consumo individual.....	33
2.5.3	EKC e as relações de troca.....	34
2.5.4	Fontes de ineficiência e externas de viés da EKC.....	37
2.5.4.1	Fontes de ineficiência.....	38
2.5.4.2	Fontes externas de viés.....	42
2.6	Resultados e estudos empíricos.....	45
2.6.1	Modelagem (modelo reduzido).....	45
2.6.2	Resultados dos estudos empíricos.....	49
2.6.3	No Brasil.....	53
3	MATERIAL E MÉTODOS (MODELO REDUZIDO).....	55
3.1	Qualidade da água.....	55
3.1	Fonte dos dados para o modelo de qualidade de água.....	59
3.2	Consumo de energia.....	60
3.2.1	Fonte dos dados para o modelo de consumo de energia.....	62
4	RESULTADOS ECONOMETRÍCOS.....	63
4.1	Qualidade da água.....	63
4.1.1	Oxigênio dissolvido (OD).....	63
4.1.2	Demanda biológica de oxigênio (DBO).....	71
4.1.3	Quantidade de coliformes fecais.....	74
4.1.4	Índice de qualidade de água (IQA/CETESB).....	79
4.1.5	Projeções para as reservas de qualidade de água da UGRHI-06.....	83
4.2	Consumo de energia.....	85
4.2.1	Projeções para o consumo de energia.....	89
5	Conclusões.....	92
5.1	Qualidade da água.....	92
5.2	Consumo per capita de energia.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
	APÊNDICES.....	106



## LISTA DE FIGURAS

	Página
1	População mundial: evolução da população mundial estimada (1950-2000) e prevista (2000-2050)..... 3
2	Produção de energia por fonte de geração (%), 1970-2001..... 24
3	Consumo total de energia (em milhões de tEP) no Brasil, 1970-2001..... 25
6	Consumo per capita de energia no Brasil (em tEP/pessoa) 1970-2001..... 25
7	Consumo de energia, por classe de consumo (em milhões de tEP), 1970-2001..... 26
8	A EKC ( <i>Environmental Kuznets Curve</i> )..... 27
9	Participação setorial no PIB (em %) e o índice do PIB per capita (2002=100)..... 30
10	Os efeitos da tecnologia ou “achatamento” da EKC..... 31

11	Efeitos do “achatamento” em uma relação <i>cross-time</i> para diversas EKC’s.....	32
12	EKC para diversas relações renda/meio-ambiente.....	38
13	Ajuste ótimo dos bens não-rivais.....	39
14	Plotagem de ajuste de linha para o modelo EKC de consumo de energia total no Brasil.....	53
15	Plotagem de ajuste de linha para intensidade energética em função do PIB per capita.....	54
16	Relação entre renda (em R\$ de 1998) e o índice de qualidade de água (IQA), na UGRHI-06.....	55
17	Relação entre o índice de qualidade de água (CETESB) e renda per capita (em R\$ de 1998), na UGRHI-06.....	55
18	Relação entre a quantidade de oxigênio dissolvido (mg/l) e a renda per capita (em R\$ de 2000), na UGRHI-06, 1980-2000.....	71
19	Relação entre a quantidade de coliformes fecais (NMP/100 ml) e a renda per capita (R\$ de 2000), na UGRHI-06, 1980-2000.....	78
20	Relação entre a quantidade de coliformes fecais e a renda per capita.....	79
21	Relação entre a renda per capita (em R\$ de 2001) e o consumo per capita de energia (tEP/pessoa) no Brasil, 1970-001.....	88

22	Estimativa da evolução do consumo total de energia no Brasil (em milhões de tEP) dado dois cenários de crescimento do PIB per capita (1% e 2% anuais): 2001-2015.....	91
23	Curvas de distribuição de qualidade dos indicadores de qualidade de água e seus respectivos pesos ( $w_i$ ) no valor final do IQA/CETESB (Índice de Qualidade de Água).....	112
24	Mapa da divisão das unidades de gerenciamento de recursos hídricos.....	113
25	Mapa da UGRHI-06 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06), Alto Tietê.....	114
26	Mapa de distribuição dos sistemas de esgotos na região metropolitana de São Paulo e suas respectivas ETE's.....	116
27	Evolução dos indicadores de preço das fontes de energia que compõem o indicador geral de preços de energia (em valores reais) (1970=100): 1970-2001.....	119
28	Ponderação das diversas fontes energia que compõe o índice de preço de energia.....	120
29	Indicador de preço de energia (1970=100), 1970-2001.....	121

## LISTA DE QUADROS

		Página
1	Faixas de disponibilidade de água e respectivas probabilidades de estresse hídrico.....	16
2	Resultados de diversos estudos empíricos para a relação emissão de CO e renda.....	52
3	Resultados de diversos estudos empíricos para a relação emissão de SO <sub>2</sub> e renda.....	52
4	Padrões selecionados de qualidade de água doce de acordo com sua classificação estabelecida pela Resolução CONAMA n° 20.....	108
5	Classificação dos corpos de água doce e respectivos usos destinados de acordo com a Resolução Estadual CONAMA n° 20.....	110
6	Municípios pertencentes à UGRHI-06 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos-06).....	115
7	Pontos de coleta de dados de qualidade de água utilizados na amostra de dados.....	118

## LISTA DE TABELAS

	Página
1 Brasil: algumas informações básicas sobre as principais bacias hidrográficas, em 1996.....	15
2 População, densidade populacional, disponibilidade hídrica e utilização dos recursos hídricos, para alguns estados brasileiros, em 1996.....	15
3 Tabela de conversão para unidades comuns de medida de energia e força.....	19
4 Resultado econométrico da relação oxigênio dissolvido (em mg/l) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	66
5 Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU, após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, e o valor da correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e OD na UGRHI-06.....	68
6 Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.....	69

7	Resultado econométrico final da relação oxigênio dissolvido e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	69
8	Resultado econométrico da relação demanda biológica de oxigênio (DBO) (em mg/l) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	72
9	Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU, após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, e o valor de correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e DBO na UGRHI-06.....	72
10	Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.....	73
11	Resultado econométrico final da relação demanda biológica de oxigênio (mg/l) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	74
12	Resultado econométrico da relação quantidade de coliformes fecais (NMP/100 ml) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	75
13	Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU, após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, e o valor de correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e a quantidade de coliformes fecais, na UGRHI-06.....	76

14	Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.....	76
15	Resultado econométrico final da relação quantidade de coliformes fecais (NMP/100 ml) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	77
16	Resultado econométrico da relação índice de qualidade de água (IQA) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	80
17	Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, e o valor de correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e o índice de qualidade de águas (IQA), na UGRHI-06.....	79
18	Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.....	80
19	Resultado econométrico final da relação índice de qualidade de água (IQA) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980-2000, na UGRHI-06.....	81
20	Projeção da variação dos indicadores de qualidade de água (OD, coliformes fecais e IQA) na UGHRI-06, dada uma variação anual de 1% do PIB per capita.....	82

21	Projeção da variação dos indicadores de qualidade de água (OD e coliformes fecais) na UGRHI-06, dada uma variação anual de 2% do PIB renda per capita.....	84
22	Resultado econométrico da relação consumo per capita de energia ( $10^3$ tEP/pessoa) e PIB per capita (em R\$ de 2001), 1970-2001.....	84
23	Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW) e o valor do intervalo dL e dU, para a relação PIB per capita e o consumo per capita de energia.....	85
24	Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.....	86
25	Resultado econométrico da relação consumo per capita de energia ( $10^3$ tEP/pessoa) e PIB per capita (em R\$ de 2001), 1970-2001.....	87



# **CRESCIMENTO ECONÔMICO, USO DOS RECURSOS NATURAIS E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL: UMA APLICAÇÃO DO MODELO EKC NO BRASIL**

Autor: LUIZ FERNANDO OHARA KAMOGAWA

Orientador: Prof. Dr. RICARDO SHIROTA

## **RESUMO**

O ser humano, já nas primeiras civilizações, tem como objetivo principal na vida prosperar e possuir uma quantidade cada vez maior de riqueza e de bens. A cultura do acúmulo de riqueza e de um consumo cada vez maior de bens e serviços faz parte então dos costumes de qualquer sociedade e economia no mundo. O crescimento econômico é, desta forma, objetivo para qualquer economia ao redor do mundo e logicamente do Brasil. Atualmente conceituado com um aumento da produção, este crescimento econômico gera uma série de impactos negativos (degradação) sobre os recursos naturais e ambientais. No longo prazo, estes impactos negativos podem estar levando a uma deterioração irreversível das reservas destes recursos, prejudicando desta forma o desempenho e a prosperidade das economias. O estudo do nível de degradação dos recursos naturais e ambientais e sua relação com o nível de crescimento econômico de uma nação é, desta forma, de grande importância pelos aspectos apresentados. O objetivo do nosso trabalho é, desta forma, exatamente este, estudar a relação entre o crescimento econômico (conceituado como um

aumento do nível de renda) e o nível de degradação dos recursos naturais e ambientais, às luzes do modelo EKC (*Environmental Kuznest Curve*), aplicado ao Brasil. Como a degradação dos recursos naturais e ambientais é multidimensional, necessitando assim uma série de indicadores, e devido a disponibilidade de dados, foram utilizados dois tipos de indicadores: de qualidade de água e de consumo de energia.

**ECONOMICAL GROWTH, THE UTILIZATION OF THE NATURAL  
RESOURCES AND ENVIRONMENTAL QUALITY: AN APPROACH OF  
THE EKC MODEL IN BRAZIL**

Author: LUIZ FERNANDO OHARA KAMOGAWA

Adviser: Prof. RICARDO SHIROTA

**SUMMARY**

Since the beginning of the human society, men have a main objective in life, getting wealthier and have as many goods as possible. The culture of wealthy accumulation and the consuming of a bigger quantity of goods and services is part of the characteristics of any society and economy around the world. This way, economical growth is an essential requirement for any economy, including Brazil. Defined as an improvement of the production, this economical growth also generates some other negative impacts on environmental and natural resources. In the long-run those impacts can be leading to an irreversible situation, bringing up some serious influences on the economical balance and prosperity. For those reasons, the study of the relationship between the economical growth and the degradation of the natural and environmental resources is important for a society. Thinking on it, we have developed a study that analyzes the relationship between economical growth (defined as an increase of the real GDP) and the degradation of natural and environmental resources, applying the concept of the EKC (Environmental Kuznets Curve) model in

Brazil. Unfortunately, it's needed as many indicators of pressure as possible (once that the quality of natural and environmental resources is multidimensional), but, due to that lack of data and to facilitate our study it has been applied the study to two indicators: water quality and energy consume.

# **CRECIMIENTO ECONÓMICO, UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL: UNA APLICACIÓN DEL MODELO EKC EN BRASIL**

Autor: LUIZ FERNANDO OHARA KAMOGAWA

Orientador: Prof. Dr. RICARDO SHIROTA

## **RESUMEN**

Desde del inicio de la sociedad humana los hombres tienen como objetivo principal en sus vidas la obtención de riquezas y una mayor cantidad de bienes de consumo. La cultura de acumulación y consumo es parte de la cultura de las sociedades y economías en todo el mundo. Así, el crecimiento económico es el objetivo de todas las economías mundiales, incluyendo Brasil. Modernamente definido como un aumento en la producción, este crecimiento económico puede generar una serie de impactos negativos (degradación) para los recursos naturales y ambientales. A largo-plazo, estos impactos pueden llevar a un colapso o perjudicar la prosperidad de la economía. El estudio de la relación entre el crecimiento económico es así importante para la sociedad. Con esa idea fue realizado este estudio que relaciona el crecimiento económico y la degradación de los recursos naturales y ambientales utilizando el concepto de la EKC (*Environmental Kuznets Curve*), aplicado en Brasil. Como la calidad de los recursos naturales y ambientales es multidimensional, y la cantidad de datos es restringida, fue aplicado el estudio para apenas dos indicadores: calidad de agua y consumo de energía.

## **1 INTRODUÇÃO**

A prosperidade nos períodos iniciais da história da raça humana era apenas baseada na sua capacidade de sobrevivência (encontrar alimentos e abrigo). No entanto, lentamente, o ser humano passou a se destacar dos outros seres que também viviam no meio. Isto, primordialmente, pela sua superioridade intelectual e a capacidade de atuar em sociedade. O ser humano desenvolveu a habilidade de se comunicar, passando a se organizar. Aprendeu a controlar os ecossistemas para atender as suas necessidades, desenvolveu a agricultura, domesticou os animais, aprendeu a dominar as ligas metálicas (ferro, cobre, bronze) e, conseqüentemente, as armas (Randall, 1987).

O que era apenas uma série de grupos e tribos isoladas, transformou-se em uma sociedade que cresceu e progrediu. Surgiram as primeiras cidades e o comércio floresceu. Com o desenvolvimento do comércio e a expansão das atividades produtivas destas sociedades, houve a necessidade da busca de novas fronteiras. Assim, a escassez de terra para a produção poderia ser suprida, além de se encontrar novas fontes de recursos e produtos. Em conseqüência, houve a expansão marítima e o surgimento do mercantilismo (Huberman, 1971; Randall, 1987).

Novas idéias e pensamentos foram surgindo. Assim, as bases do que chamamos de crescimento econômico das sociedades se alteraram em função de grandes revoluções comerciais<sup>1</sup> e, principalmente, em função da revolução industrial.

O crescimento da renda, anteriormente baseada no acúmulo de riquezas providas pelas ex-colônias, especialmente de metais preciosos, passou a se basear na produção industrial e no comércio (Huberman, 1971; Randall, 1987).

Outras revoluções vieram, muitas monarquias caíram e a democracia cresceu. No campo do desenvolvimento intelectual houve o surgimento de novas tecnologias produtivas e o aprimoramento de outros conhecimentos (como a medicina, a física e a matemática). O crescimento econômico continuou impulsionado por estas novas descobertas e pela expansão do consumo. Em função de todo este cenário positivo, houve uma considerável melhora na qualidade de vida das pessoas aliado a um relativo aumento da expectativa de vida e no tamanho da população.

Nos períodos mais modernos, outras grandes revoluções surgiram e o título de grande potência econômica foi transferido para diferentes mãos. As telecomunicações se desenvolveram, houve a revolução verde da década de 70<sup>2</sup> e surgiu a indústria da informática. Com a queda dos custos de produção e um contínuo aumento de produtividade e criação de novos produtos, o crescimento das economias deu um grande salto, resultando em ganhos de renda e de expectativa de vida da população. O resultado foi a grande explosão populacional, já iniciada em períodos anteriores (Lomborg, 2001) (Figura 1).

---

<sup>1</sup> Pois segundo a divisão e especialização da mão-de-obra, cada economia devia se especializar na produção do bem em que fossem mais eficientes e que elas transacionassem esses seus produtos, assim a “Riqueza das Nações” estaria no comércio destas mercadorias (Smith, 1983).

<sup>2</sup> Revolução onde houve uma grande expansão da produtividade da terra e conseqüentemente grande queda no preço dos alimentos (Lomborg, 2001).

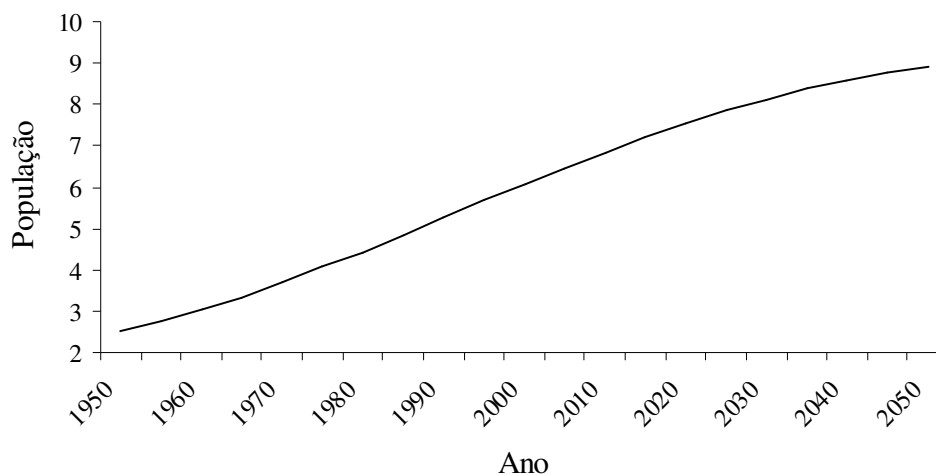


Figura 1 - População mundial: evolução da população mundial estimada (em bilhões de pessoas) (1950-2000) e prevista (2000-2050).

Fonte: Organização das Nações Unidas (ONU) (2003)

### 1.1 Crescimento econômico e degradação ambiental

O crescimento econômico é objetivo para qualquer economia no mundo (Banco Mundial, 1992). Este objetivo, historicamente, não foi um processo simples e de fácil obtenção. Ele é resultado de uma série de fatores, interações e mudanças nas estruturas produtivas, tecnológicas e sociais de uma economia (Kuznets, 1974).

Dentre estas mudanças, destaca-se o desenvolvimento da capacidade do homem em dominar a natureza para seu benefício. Desde o momento em que ele aprendeu a controlar o fogo e desenvolveu a agricultura, ele deixou de ser apenas um membro do meio para ser um agente que tinha a capacidade de alterar a dinâmica do meio-ambiente de forma consciente para maximizar o seu conforto (Randall, 1987).



Sob a forma dos recursos naturais e ambientais<sup>3</sup>, o homem passou a utilizar o meio-ambiente como provedor de conforto. Assim, muito das dinâmicas populacionais e da própria prosperidade econômica das diversas sociedades humanas, foi influenciada pela disponibilidade destes recursos, tanto na forma qualitativa quanto quantitativa (Huberman, 1971; Randall, 1987; Lomborg, 2001).

Todavia, na mesma forma que os recursos naturais e ambientais nos fornecem conforto e promovem a manutenção e o florescimento das inúmeras sociedades humanas, a ação humana gera uma série de externalidades e pressões negativas que se traduzem em uma degradação ou depreciação do meio-ambiente<sup>4</sup>. Isto, tanto na forma relativa individual (uma maior pressão é gerada por indivíduo) quanto absoluta total (uma maior pressão é gerada devido ao aumento da população e mesma função deste aumento individual).

O crescimento econômico, desta forma, é um desafio ao meio-ambiente, uma vez que existem limitações quanto à capacidade do meio em suportar as pressões exercidas pela ação humana (Radetzki, 1992).

O estudo da relação crescimento econômico e utilização dos recursos naturais e degradação ambiental é essencial. Uma vez que surge um processo cíclico onde a oferta de recursos naturais e a qualidade ambiental determinam o processo de crescimento econômico, que por sua vez gera uma série de pressões negativas sobre o meio-ambiente, que novamente influenciam o nível de crescimento econômico.

Desde de os primórdios do que hoje nós chamamos de economia, os recursos naturais eram fatores preponderantes (ainda que indiretamente) nos modelos propostos. David Ricardo (Ricardo, 1983) e Thomas Malthus (Malthus, 1983) mostravam claramente em seus estudos que a importância da produtividade marginal da

---

<sup>3</sup> Ver 2.2.

<sup>4</sup> Ver 2.3.

terra influenciava o fornecimento de alimentos e conseqüentemente a prosperidade das economias.

Mais recentemente o assunto foi discutido pelo Clube de Roma durante a década de 70 (Radetzki, 1992). E na década de 90, especificamente em 1992 quando houve a ECO-92, com a publicação do relatório do Banco Mundial.

Este relatório tinha exatamente o propósito de discutir como o crescimento econômico estava influenciando a qualidade do meio-ambiente, bem como este poderia influenciar este processo (Banco Mundial, 1992).

## **1.2 Objetivos**

O crescimento econômico está diretamente envolvido com a utilização dos recursos naturais e a qualidade ambiental. Ao mesmo tempo, este mesmo processo de crescimento econômico afeta as reservas destes recursos, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa.

Entretanto, existem poucos estudos da relação entre o processo de crescimento econômico e a degradação dos recursos ambientais e a utilização dos recursos naturais para os países de menor renda e, principalmente, para o Brasil. Geralmente, a maioria dos estudos já realizados foi dirigida para os países de maior renda ou em análise *cross-section* ou em painel, englobando vários países.

Naturalmente as características físicas, culturais e econômicas do Brasil são bem diferentes dos países de alta renda ou, até mesmo, dos outros países de renda semelhante. Essas diferenças devem afetar as relações entre o crescimento econômico e degradação ambiental.

O objetivo principal deste trabalho é analisar os efeitos que o crescimento econômico causa na degradação ambiental no utilizando dois indicadores: de qualidade de água (no Estado de São Paulo) e consumo per capita de energia (Brasil).

Como objetivos secundários, o estudo pretende traçar possíveis projeções para a qualidade ambiental em um curto período de tempo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Crescimento econômico**

Historicamente, o conceito de riqueza e assim crescimento econômico de uma nação variou muito. Nas primeiras sociedades humanas riqueza era a quantidade de alimentos que cada um conseguia ingerir. Com a evolução do conhecimento dos homens e a criação da agricultura, a riqueza era a produção agrícola das tribos. Na idade média, riqueza era medida pela quantidade de terras que uma nação possuísse, uma vez que era dela que se retirava a subsistência. Avançando ao mercantilismo, riqueza era a quantidade de metais que uma determinada nação possuía (Huberman, 1971). Para Adam Smith, a riqueza estava no comércio e na especialização da produção (Smith, 1983).

Nas sociedades atuais, crescimento econômico de uma nação é medido por um aumento da produção (Kuznets, 1974). Entretanto, para a sua mensuração é necessário inicialmente definir a unidade a ser estudada. Esta unidade pode ser um indivíduo, uma família, um estado, um setor ou uma nação (Kuznets, 1974).

Por exemplo, ao escolher uma nação como unidade de medida o pesquisador deve focar seus estudos em fatores que compõem a produção desta nação. Assim, relatórios de produtividade da terra e de produção industrial podem ser um indicador desta produção. Caso o estudo seja feito em termos relativos (individuais), o valor da produção a ser estimado é o valor per capita (Kuznets, 1974).

Atualmente, o conceito mais utilizado e aceito de produção é o sistema das contas nacionais. Desde a década de 40, a ONU (Organização das Nações Unidas) é a responsável pela elaboração, criação e padronização das metodologias para a estimação destas contas, conhecida como SNA (*System of National Accounting*). Sua última grande alteração metodológica ocorreu em 1993.

Este sistema de contas nacionais não é nada mais que um sistema que capta os valores de todos os fluxos contábeis das atividades econômicas (de produção, de remuneração do capital e de bens e serviços) de um determinado país em um dado período de tempo. As diferentes atividades econômicas são divididas em diferentes balanços sob diferentes óticas no método das partilhas dobradas (débito e crédito). As diferentes óticas são: a ótica da produção ou geração (chamado de produto), a ótica da alocação (conhecida com a renda), a formação do capital bruto e as transações com o exterior (ONU, 2003).

No Brasil, atualmente, a elaboração da metodologia e estimação das contas nacionais é de responsabilidade do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Elaborados segundo as metodologias da ONU, o sistema recebeu a sua última atualização em 1997 (IBGE, 2003).

Um dos valores que compõe um dos quadros deste sistema é o PIB (Produto Interno Bruto). O PIB é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos, utilizando fatores de produção localizados no país, a ser estimado em um dado período de tempo (Dornbush & Fisher, 1991; Branson, 1972).

Seus valores também podem ser dispostos em valores nominais e reais. Entende-se por valor nominal aquele estimado em termos da moeda corrente ao momento de sua mensuração. Já o valor real é aquele estimado descontando os efeitos da inflação dos preços utilizando um indicador de preços qualquer (Dornbush & Fisher, 1991; Branson, 1972).

Por convenção, a maneira atualmente mais utilizada para mensurar o crescimento econômico no Brasil é estimação do incremento no valor do PIB. Isto, pela simples razão que o valor do PIB é maior do que o PNB, pois a renda líquida enviada ao exterior (RLEE) é positiva (o país mais envia renda ao exterior do que recebe). Caso oposto ocorre nos países centrais (parte da Europa, América do Norte, Japão), onde a renda recebida é maior do que a enviada, assim, o valor do PNB é maior do que o PIB.

De preferência, utilizam-se os valores em termos reais. Já que o interesse é medir o aumento da produção, não o aumento do valor do PIB em função de uma elevação nos preços.

## **2.2 Recursos naturais e ambientais**

Por definição, um recurso é algo que é útil e possui valor na condição em que ele se encontra na natureza (não passando por um processo de transformação). Existem certas ocasiões em que apesar de atribuirmos valor a algo ele não é um recurso, pois sua oferta é demasiadamente grande, assim, ele não possui valor. Os recursos são, por conceito, escassos (não abundantes) (Randall, 1987). No meio-ambiente podem ser encontrados dois tipos de recursos: os recursos naturais e ambientais.

Recursos ambientais são aqueles que possuem valor e são úteis na forma que são encontrados na natureza, gerando utilidade para o homem sem passarem por um processo de transformação<sup>5</sup>. Eles não são consumíveis, apenas utilizáveis (Randall, 1987).

Os recursos naturais são aqueles que possuem valor e são úteis na forma que eles se encontram na natureza. Entretanto, é necessário que eles sejam utilizados

---

<sup>5</sup> Ex.: uma praia privada, um parque nacional, a qualidade do meio-ambiente.

com outros fatores de produção<sup>6</sup>, para gerarem um bem ou serviço que traga utilidade para as pessoas<sup>7</sup> (Randall, 1987; Field, 1994).

Os recursos naturais e ambientais são multidimensionais. Eles variam em qualidade e quantidade, ao longo do tempo e espaço (Randall, 1987; Field, 1994).

### 2.3 Degradação e depreciação do meio-ambiente

A degradação ou depreciação do meio-ambiente ocorre por duas maneiras: uma devido à utilização dos seus recursos naturais, outra é função das externalidades negativas, geradas pelos processos produtivos e do consumo (mais conhecidas como poluição ou emissão de poluentes).

A utilização dos recursos naturais (apenas eles) em si, não é um problema para a qualidade do meio-ambiente *a priori*. Entretanto, estes recursos são escassos (se não fossem escassos não seriam recursos) e alguns tendem a exaustão<sup>8</sup> (Randall, 1987). Assim, a sobre-utilização ou consumo destes recursos tende a esgotar as suas reservas, podendo chegar à completa extinção das reservas (exaustão); problema exclusivo dos recursos naturais, uma vez que os recursos ambientais não são consumíveis.

Já as externalidades negativas são as várias situações onde o consumo ou a produção de um indivíduo, ou empresa, gera uma depreciação, em qualidade e quantidade, dos recursos ambientais ou das reservas de recursos naturais (Randall, 1987).

---

<sup>6</sup> Como o capital, a tecnologia e o trabalho.

<sup>7</sup> Ex.: ferro, chumbo, cobre.

<sup>8</sup> Quando a quantidade total do recurso disponível for zero (Randall, 1987).

Alguns tipos de poluição dissipam rapidamente e suas conseqüências são sentidas a curto-prazo. Assim, a partir do momento em que houver a suspensão das emissões destes poluentes, rapidamente o meio se encarregará de absorvê-lo<sup>9</sup> (ex: dióxido de sulfeto e sólidos suspensos no ar). Essas degradações são conhecidas como fluxo (Stokey, 1998) ou não-cumulativas (Field, 1994).

Existem outras que se acumulam ao longo do tempo, ou seja, as conseqüências das emissões no presente só serão sentidas ao longo-prazo. Essas degradações são conhecidas como do tipo estoque (Stokey, 1998) ou cumulativas (Field, 1994).

## **2.4 Indicadores de qualidade ambiental**

A qualidade ambiental é multidimensional. Ela varia qualitativamente em função do tempo e espaço. A qualidade ambiental não depende apenas de um indicador, uma série de indicadores agem em conjunto resultando na qualidade do meio-ambiente. Em função disso, a escolha dos indicadores representativos não é tarefa fácil. Cada situação irá exigir um determinado indicador para mensurar o problema analisado.

Assim, as situações devem ser estudadas separadamente de acordo com o recurso analisado e em qual situação ele está sendo utilizado. No presente estudo serão analisados apenas os indicadores de água (qualidade) e de energia (consumo), que são o foco do trabalho.

---

<sup>9</sup> Dependendo da capacidade de absorção do meio.



### 2.4.1 Água e a qualidade ambiental

A água desempenha papel fundamental na manutenção da vida em nosso planeta. Considerada solvente universal e reagente com componentes químicos mais complexos, trata-se de um importante composto para diversos processos físicos, químicos e biológicos (Amaral, 2000).

A forma mais desejada para consumo humano de água a ser utilizada é a chamada “água doce”<sup>10</sup>. Ela desempenha diversas funções na higiene, alimentação, transporte, lazer e em processos produtivos industriais, comerciais e agrícolas, exercendo grande importância na evacuação de detritos humanos e industriais. Em cada função, ela é requerida em quantidade e qualidade diferenciadas (Stepheson & Petersen, 1991).

A água é um elemento com grande valor tanto econômico como social. A sua falta pode limitar o crescimento das atividades econômicas. Trata-se de um importante fornecedor de bem estar (produção de alimentos, consumo humano, sanidade, lazer e produtora de energia elétrica) (Stepheson & Petersen, 1991).

Devido ao seu impacto sobre o bem estar humano e o crescimento econômico, o planejamento dos recursos hídricos constitui um importante determinante do crescimento dos países de menor renda (Banco Mundial, 1992).

Entretanto, a falta de acesso à rede de água e esgotos e a ineficiência no sistema de tratamento dos resíduos continuam a ser um fator gerador de diminuição da qualidade de vida e ambiental no mundo, mesmo nos países de alta renda (Banco Mundial, 1992). Os fatores que afetam a qualidade dos corpos de água podem ser divididos em três grupos: problemas com acesso à rede de água e esgotos, contaminação

---

<sup>10</sup> Águas com teores sólidos totais dissolvidos (std) inferiores a 1000mg/l (Rebouças, 1997).

por dejetos químicos e industriais e problemas relacionados ao aumento da carga orgânica nos corpos de água.

A falta de acesso à rede de água e esgoto consiste em um problema, essencialmente, pela contaminação e disseminação de doenças causadas por esta ineficiência. Considera-se que muitas doenças podem ser praticamente erradicadas com a instalação de um sistema de águas e esgotos mais eficiente, porém esta opção é extremamente cara e de difícil instalação. Em alguns casos o problema é agravado pela escassez de água para o abastecimento (Banco Mundial, 1992).

Do mesmo modo, difícil é a resolução do problema da contaminação da água por resíduos químicos e industriais. Associados a regiões com grande presença de atividades agrícolas, de mineração e industriais em geral, este tipo de contaminação não pode ser resolvido pelos métodos tradicionais de purificação da água. Os seus efeitos aparecem, principalmente, ao longo-prazo de forma direta, com o consumo humano da água, ou indireta, na biota aquática (peixes, moluscos) que podem ser ingeridos pelas pessoas (Banco Mundial, 1992).

O aumento da carga orgânica nos rios, a exceção da contaminação, não chega a ser um problema direto para a saúde humana. Relacionados, geralmente, ao lançamento de efluentes de origem agrícola, de dejetos humanos (esgotos), e lixiviação do solo, um aumento da carga orgânica nos rios leva à sobre atividade da microbiota aquática que passa a demandar uma maior quantidade de oxigênio. Isto leva a uma redução da quantidade de oxigênio dissolvido na água, podendo levar à morte uma série de outros organismos que vivem e necessitam do oxigênio deste meio (principalmente os peixes) (Banco Mundial, 1992).

Tendo em vista uma deterioração e uma maior dificuldade e custo de purificação dos corpos superficiais de água, as sociedades passaram a recorrer aos corpos subterrâneos de água. Todavia, do mesmo modo que os corpos superficiais

tornaram-se poluídos, os corpos subterrâneos também são afetados por este mal. Como a sua principal fonte é originada da infiltração decorrente do uso inadequado de metais pesados e químicos sintéticos, eles possuem um agravante: sua menor capacidade em absorver os poluentes em relação aos corpos superficiais (Banco Mundial, 1992).

Entretanto, não apenas a depreciação dos corpos de água leva a uma redução do acesso das pessoas a água. As pessoas não demandam água apenas em qualidade, mas também em quantidade. Assim, uma maior demanda (tanto individual, quanto total) leva a uma maior escassez de água, uma vez que a quantidade total de água em nosso planeta é praticamente fixa; não é nem destruída e nem criada<sup>11</sup> (Mather, 1984).

#### **2.4.1.1 Água no Brasil**

O Brasil é um país com abundância de água doce tanto em termos totais estocados quanto em função ao fluxo de água. Estima-se que 13,8% do deflúvio total mundial esteja em território brasileiro (correspondendo à cerca de 56% do total da América Latina) (Rebouças, 1997). Sendo que a disponibilidade hídrica de água doce estimada é de 36.575 m<sup>3</sup> por pessoa (seis vezes maior que a média mundial, o quádruplo de um norte-americano e 12 vezes a quantidade de um chinês) (Setti, 2001).

Como ocorre em outros países do mundo, a disponibilidade de água do país não é uniforme (Tabelas 1 e 2). Do total do potencial hídrico do país, 73,2% se localiza na bacia amazônica, apesar de apenas 4,3% da população brasileira viver nessa região. Enquanto que a região da Bacia do Rio Paraná abriga 31,8% da população e possui 6% da água disponível (Tabela 1) (Setti, 2001).

---

<sup>11</sup> Apesar de serem criadas pequenas quantidades de água em erupções vulcânicas, mas ínfimas em relação ao valor total disponível (Mather, 1984).

Tabela 1. Brasil: algumas informações básicas sobre as principais bacias hidrográficas, em 1996.

Bacia Hidrográfica	Área		População		Disp. Hídrica		Disp. per capita m <sup>3</sup> /ano
	10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>	%	Habitantes	%	km <sup>3</sup> /ano	%	
Amazônica	3.900	45,8	6.687.893	4,3	4.206	73,2	628.940
Tocantis	757	8,9	3.503.365	2,2	372	6,5	106.220
Atlântico Norte/Nordeste	1.029	12,1	31.253.068	19,9	285	5,0	9.130
São Francisco	634	7,4	11.734.966	7,5	90	1,6	7.660
Atlântico Leste	545	6,4	35.880.413	22,8	137	2,4	3.820
Paraguai	368	4,3	1.820.569	1,2	41	0,7	22.340
Paraná	877	10,3	49.924.540	31,8	347	6,0	6.950
Atlântico Sudeste	224	2,6	12.427.377	7,9	136	2,4	10.910
Brasil	8.512	100	157.070.163	100	5.745	100	36.575

Fonte: Setti (2001)

Tabela 2. População, densidade populacional, disponibilidade hídrica e utilização dos recursos hídricos, para alguns estados brasileiros, em 1996.

Estado	População	Densidade (hab/km <sup>2</sup> )	Disponibilidade per capita (m <sup>3</sup> /ano)	Utilização	
				Volume (m <sup>3</sup> /hab./ano)	% disponível
Amazonas	2.839.279	1,50	775.581	80	0,01
Bahia	12.541.675	22,60	2.862	173	6,04
Ceará	6.809.290	46,42	2.276	259	11,38
Goiás	4.514.967	12,81	62.880	177	0,28
M. Gerais	16.672.613	28,34	11.630	262	2,25
Paraná	9.003.804	43,92	12.595	189	1,50
R. de Janeiro	13.406.308	305,35	2.208	224	10,15
R. G. do Sul	9.634.688	34,31	19.720	1015	5,15
São Paulo	34.119.110	137,38	2.694	373	13,85
Brasil	157.070.163	18,50	36.498	283	0,78

Fonte: Elaborado com dados de Rebouças (1997) e Setti (2001)

O Estado de São Paulo, o objeto do estudo, com uma disponibilidade de 2.694 m<sup>3</sup> per capita, não possui abundância de água como algumas regiões do país (Tabela 2). Entretanto, a sua oferta não chega a ser um problema de grandes proporções, uma vez que apenas a partir de um volume inferior a 1.700 m<sup>3</sup> per capita, a limitação de água doce passa a ser mais intensa (Quadro 1) (Setti, 2001).

Volume disponível (m <sup>3</sup> ) per capita/ano	Situação
> 1.700	Só ocasionalmente tenderá a falta de água.
1.000-1.700	O estresse hídrico é periódico e regular.
500-1.000	A região está sob regime de crônica escassez de água. Nesses níveis, a limitação na disponibilidade começa a afetar o desenvolvimento econômico, o bem-estar e a saúde.
<500	Considerada escassez absoluta.

Quadro 1 - Faixas de disponibilidade de água e respectivas probabilidades de estresse hídrico.

Fonte: Setti (2001)

Em relação ao seu nível de utilização e o disponível per capita de água doce, o estado está em situação semelhante à China (Rebouças, 1999), que segundo classificação são regiões com baixos níveis de uso de água e com oferta considerada suficientes (Margat, 1998; citado por Rebouças, 1999).

### **2.4.1.2 Água doce no Brasil: aspectos legais**

A primeira tentativa de se estabelecer critérios para a utilização da água ocorreu com o estabelecimento do “Código das Águas” de 1934. Esta norma seguiu uma doutrina muito mais aplicada a critérios de finalidade de uso para água do que a sua natureza jurídica (Pompeu, 1999).

O Código estabeleceu dois tipos de finalidades para o uso da água: para uso público (sujeito a uma concessão administrativa) e para outras finalidades (sujeitas a uma autorização administrativa).

A Lei Federal nº 9.433 introduziu algumas alterações no “Código das Águas” de 1934 em 8 de janeiro de 1997. Pelo novo Código, em qualquer hipótese a preferência para a derivação de água é para o abastecimento populacional. Também ficou reconhecido que as águas públicas de uso comum são inalienáveis e que seu uso seria derivado de um instrumento de outorga estabelecido por lei com uma duração de 35 anos, sendo passíveis de cobrança e suspensão caso não haja o cumprimento dos termos outorgados.

A autoridade da instrumentação dos mecanismos de outorga é a União para os corpos de água sob tutela da Federação. Os demais corpos ficam subordinados aos Comitês Estaduais estabelecidos pelas leis dos Estados.

Além da outorga para o uso foi implementada a outorga para o lançamento de efluentes (tratados ou não) que também é sujeita a cobrança. Os valores a serem estabelecidos por lei são em função do volume lançado, as características físico-química-biológicas e toxicidade destes efluentes. Estes valores, no entanto, devem estar em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação ambiental, tanto no âmbito federal quanto estadual.

Ficou estabelecido, também, que captações e lançamentos de pequenos núcleos rurais considerados insignificantes não estão sujeitos à outorga.

#### **2.4.1.3 Água doce no Estado de São Paulo: aspectos legais**

O uso de todos os corpos de água doce sob domínio do Estado está regulamentado segundo os critérios estabelecidos pela Lei Estadual nº 7.633 de 30 de dezembro de 1991.

Nela foi estabelecida que a administração, conservação e planos para a recuperação dos corpos de água doce é função dos Comitês de Bacias (instituídos pela mesma lei). Já a concessão e a cobrança (revista pelo projeto de Lei Estadual nº 20 de 1998) de outorga de empreendimentos que demandem água doce foram estabelecidas como função do DAEE (Departamento de Água e Esgotos).

A fiscalização e autuação de lançamento de efluentes e a concessão de licenciamento para o estabelecimento de obras de saneamento seguem o estabelecido pela Resolução Estadual nº 19 de 1996 e as normas técnicas para a sua instalação é regulamentada pela Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio-Ambiente) nº 5 de 1988.

Ficou também estabelecido que a CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) é a responsável pela fiscalização e concessão de autorizações para o lançamento de efluentes, e a Resolução CONAMA nº 20 de 1986 (Apêndice 1) como o padrão estabelecido de qualidade dos corpos de água doce.

### 2.4.2 Energia e a qualidade ambiental

A energia, por definição, é a capacidade de realizar trabalho sobre a matéria ou modificar o estado da mesma. Quando esta energia se manifesta exercendo uma força, é dito que ela realiza trabalho<sup>12</sup> (Pryde, 1983; Mustoe, 1984).

Mensurada de diversas formas, a energia é geralmente medida por: tonelada equivalente de petróleo (tEP); British Thermal Unit (BTU); quilo joule (KJ); quilo caloria (Kcal) e o quilo Watt hora (Kwh). Ver a seguir uma tabela de conversão para algumas formas de medida de energia e força (Tabela 3).

Tabela 3. Tabela de conversão para unidades comuns de medida de energia e força.

Unidade	Conversão
Btu	0,252 Cal ou $2,93 \times 10^{-4}$ Kwh
Caloria	4190 joules ou 3,97 Btu
tEP	$10^5$ Btu ou 29,33 Kwh

Fonte: Adaptado de Pryde (1983)

Existem duas principais formas de demanda de energia para o ser humano: uma serve para atender suas demandas biológicas, a outra para atender a demanda dos seus sistemas produtivos e econômicos.

Para atender suas demandas biológicas, a principal fonte original de energia é aquela proveniente da irradiação de energia das reações termonucleares que ocorrem no Sol.

<sup>12</sup> Definido pela física como uma determinada força aplicada sobre uma determinada distância (Pryde, 1983).



Desta energia, aproximadamente um terço é refletida imediatamente para o espaço e os dois terços restantes ou são absorvidos pelo planeta na forma de calor ou são consumidos pelos organismos biológicos fotossintetizantes (Raven et al., 1996).

Como os sistemas trocam energia uns com outros, transformando esta energia radiada pelo Sol em energia química, parte desta energia é ingerida por outros organismos vivos e parte depositada na massa orgânica do planeta. Todos estes fluxos, no entanto, devem respeitar as leis da termodinâmica<sup>13</sup> (Raven et al., 1996).

Para os organismos vivos que não são fotossintetizantes, a fonte da vida está na energia extraída da quebra das cadeias de carbono que foram criadas pelas plantas ao transformarem a energia solar em energia química depositada na carga orgânica do planeta, e que por sua vez é repassada a outros organismos vivos (Raven et al., 1996).

Para atender as demandas dos sistemas produtivos e econômicos, podem-se também utilizar estes mesmos fluxos de energia proveniente das transformações químicas da energia solar. Tanto sobre forma direta (tração animal), como indireta com a utilização do acúmulo desta energia sobre a forma dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral).

Para atender essas outras demandas humanas, no entanto, existem outras importantes fontes de energia além da originada do Sol: como a gravitacional e a nuclear (Pryde, 1983).

Para efeitos de classificação, todas estas fontes de energia podem ser classificadas como renováveis e não-renováveis. As fontes de energia não-renováveis são as que, depois de esgotadas, suas reservas não podem ser novamente produzidas (ex:

---

<sup>13</sup> De que a energia pode se transformar (1ª lei) e que a quantidade de energia em um sistema, se não houver nem entrada nem saída, deve ser a mesma do estado inicial (2ª lei) (Raven et al., 1996).

combustíveis fósseis como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral; e os combustíveis nucleares tório, urânio e lítio). Já a energia renovável corresponde às que são repostas pelas forças da natureza (ex: energia solar, eólica, energia hidrelétrica, biomassa) (Pryde, 1983; Mustoe, 1984).

Segundo a ótica da classificação dos recursos naturais e ambientais as fontes de energia podem ser classificadas como um recurso fluxo ou não-cumulativo (ex: energia solar, hidráulica, eólica) ou recursos fundo ou cumulativo (ex: petróleo, gás natural) (Randall, 1987; Field, 1994).

#### **2.4.2.1 O problema do consumo de energia**

Historicamente, principalmente após a Revolução Industrial, o crescimento econômico esteve fortemente relacionado com a utilização dos combustíveis fósseis. Esta energia não é aproveitável de forma direta, só é liberada após um processo de combustão onde há a quebra das cadeias de carbono.

Neste processo, além da liberação de energia sob a forma de calor ocorre a eliminação de uma série de gases tóxicos como o monóxido e dióxido de carbono, dióxido de enxofre e outras partículas sólidas em suspensão (SPM – *Suspended Particular Matter*). Essas emissões podem resultar em danos diretos na qualidade do meio-ambiente e da vida humana. Por exemplo, estima-se que de 2-5% das mortes nas áreas urbanas se devem a complicações devido a excessivos índices de SPM (Banco Mundial, 1992; Pryor, 1981).

As emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) também trazem uma séria consequência para a saúde humana e o meio-ambiente. Combinado com a água da chuva, elas produzem ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), resultando na chamada chuva ácida. Esta chuva ácida é responsável pela morte de vegetais e microorganismos, destruição e

corrosão de construções e a contaminação dos corpos d'água (Lomborg, 2001; Field, 1994).

O monóxido de carbono (CO) é outro gás, emitido extremamente, nocivo à saúde humana. Ele pode se combinar com o sangue humano no lugar do oxigênio, causando asfixia. Entretanto, danos reais à saúde são observados apenas em casos extremos de sobre exposição a este gás (Lomborg, 2001).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) não possui propriedades nocivas à saúde humana. No entanto, ele possui propriedades físicas e químicas que o possibilitam aprisionar calor na atmosfera. Em conjunto a outros gases que possuem as mesmas propriedades, surge o chamado “efeito estufa<sup>14</sup>” (Lomborg, 2001; Field, 1994).

Esse “efeito estufa” é o aprisionamento de parte da radiação do Sol na forma de calor. Este é um efeito natural e necessário à manutenção da vida no planeta. Entretanto, ele só passou a ser prejudicial a partir do momento em que houve um aumento excessivo na emissão de dióxido de carbono. Assim, uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> estará suspenso no ar, levando a uma maior absorção de energia e conseqüente aumento da temperatura média do planeta (Lomborg, 2001).

O problema das emissões é tão grave que, desde longa data, diferentes países já vem procurando realizar ações mitigadoras para solucioná-lo. Em 1956 com o seu *Clean Air Act* os britânicos já mostravam preocupação com o controle da emissão de poluentes (Lomborg, 2001). E, posteriormente, os norte-americanos promulgaram a sua *Clean Air Act* em 1963 (Field, 1994).

A redução do nível de emissão de poluentes pode ser feita também com o uso de fontes de energia mais limpas. A energia eólica, a solar, a nuclear e a de biomassa

---

<sup>14</sup> Estima-se que o dióxido de carbono é responsável por 60% da energia aprisionada no “efeito estufa”, com tendências de aumentar no futuro (Lomborg, 2001).

são algumas alternativas em estudo. Entretanto, o seu atual alto custo de manutenção e instalação, além dos altos riscos de manipulação (caso da energia nuclear), dificulta a sua utilização em grande escala (Banco Mundial, 1992).

#### **2.4.2.2 Energia no Brasil**

O Brasil é um caso a parte no mundo. Pela característica de sua bacia hidrográfica, há uma expressiva participação da energia hidroelétrica na matriz energética. De exíguos 4% em 1970, esta fonte de energia passou a 10% da oferta total de energia no país em 2001 (Figura 2).

A energia hidroelétrica, apesar de ser considerada limpa pelos baixos resíduos associados em seu processo de geração, também causa algumas externalidades negativas. A principal delas é a extensão de terra que é inundada pelo reservatório que dará origem à usina; levando à perda de uma grande área produtiva, à morte de dezenas de espécies florestais e a alteração do habitat de algumas espécies animais (Pryor, 1981).

Além da energia hidroelétrica, o País utiliza outras fontes de energia. A principal delas é o petróleo e seus derivados. Sua participação na matriz energética, que já chegou a 51% no período anterior à crise do petróleo de 1979, é ainda de longe a principal fonte com 41% em 2001 (Figura 2).

Outra importante fonte é a lenha. Em 1970 ela chegou a ter maior participação do que o petróleo na matriz energética do Brasil (com 46%). Entretanto, com uma participação cada vez menor, em 2001 ela representava 10% do total (Figura 2).

As outras fontes<sup>15</sup>, ao longo do tempo, passaram a ter maior destaque, passando de aproximados 4% em 1970, a valores em torno de 18% em 2001 (Figura 2).

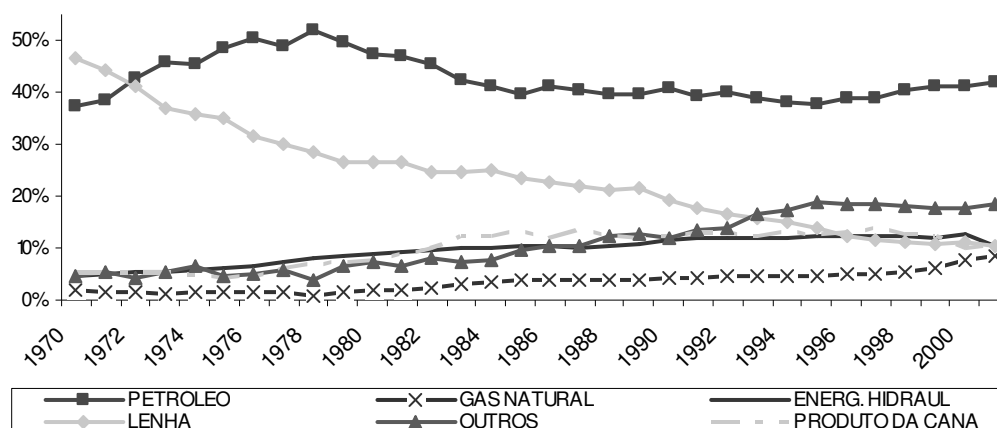


Figura 2 - Produção de energia por fonte de geração (%), 1970-2001.

Fonte: elaborado com dados de Brasil (2003)

O consumo energia, no período de 1970 a 2001, cresceu no país tanto em termos total quanto per capita (Figuras 3 e 4). Esse crescimento foi função essencialmente do aumento do consumo pelo setor industrial e de transporte, uma vez que os demais setores permaneceram praticamente constantes (Figura 5).

<sup>15</sup> GLP, carvão mineral, álcool, eólica, nuclear, outras fontes de biomassa.

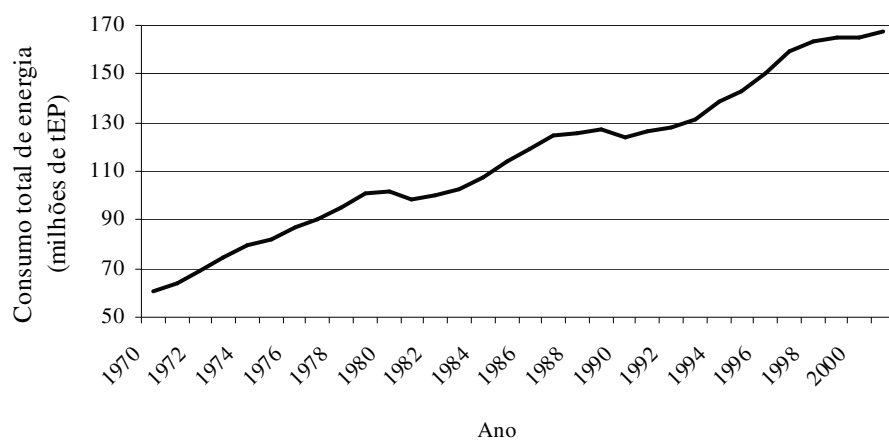


Figura 3 - Consumo total de energia (em milhões de tEP) no Brasil, 1970-2001.

Fonte: elaborado com dados de Brasil (2003)

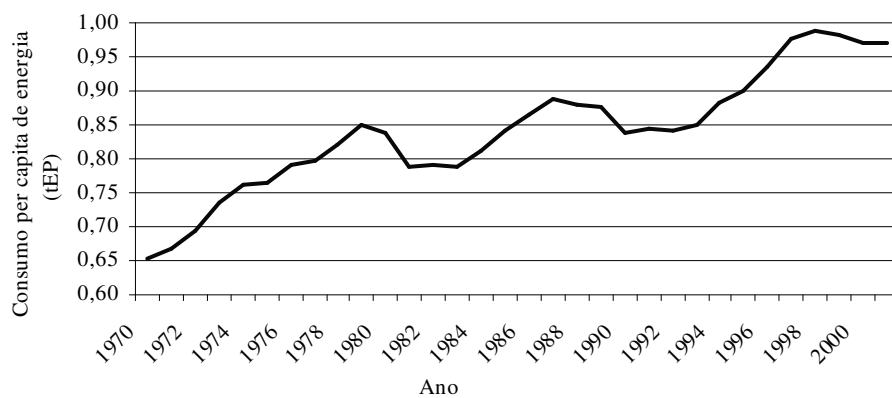


Figura 4 - Consumo per capita de energia no Brasil (tEP/pessoa), 1970-2001.

Fonte: elaborado com dados de Brasil (2003)

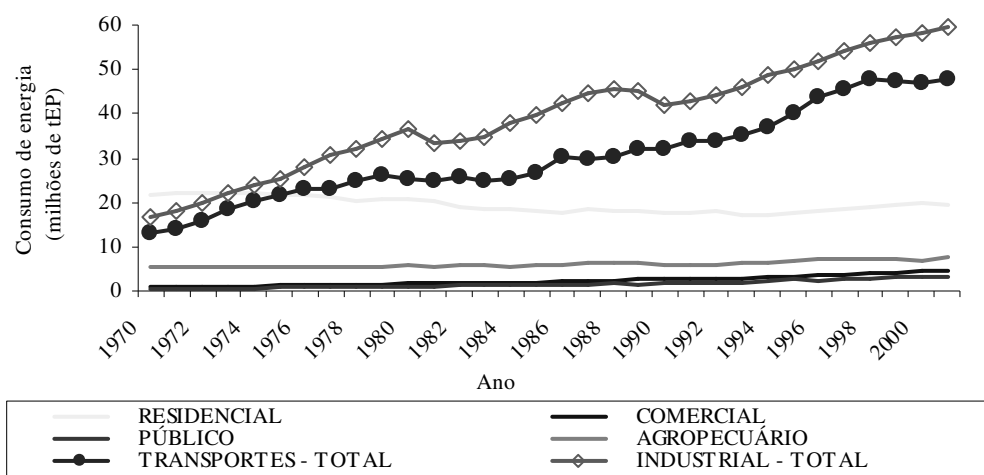


Figura 5 - Consumo total energia no Brasil, por classe de consumo (em milhões de tEP), 1970-2001.

Fonte: elaborado com dados de Brasil (2003)

## 2.5 Modelo EKC (*Environmental Kuznets Curve*<sup>16</sup>)

Os estudos da relação entre o crescimento econômico e degradação ambiental são caracterizados pela presença de dois grupos distintos e opostos.

De um lado estão os conservacionistas que acreditam que o crescimento econômico, sob qualquer circunstância, causa a destruição da qualidade e das reservas do meio-ambiente. Para este grupo, a longo-prazo, o crescimento será insustentável e o sistema entrará em colapso.

De outro lado, estão os pesquisadores com uma visão mais otimista que acredita que o próprio sistema encontrará saídas alternativas e que o problema ambiental será resolvido, a longo-prazo, pelos mecanismos de auto-ajuste da economia.

<sup>16</sup> Ou curva ambiental de Kuznets.

No grupo dos pesquisadores otimistas, uma parte em especial, estuda o modelo EKC (*Environmental Kuznets Curve*) ou Curva Ambiental de Kuznets (Selden & Song, 1994). Este modelo que trata da relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental foi inicialmente sugerida por estudos como Shafik & Bandyopadhyay (1992) e Grossman & Krueger (1993).

Segundo este conceito, a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental teria um formato de “U” invertido (Figura 6).

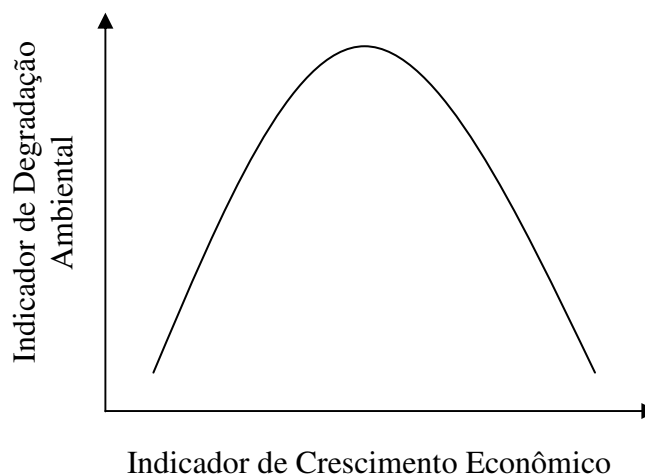


Figura 6 - A EKC (*Environmental Kuznets Curve*).

Isto significa que, nos primórdios do crescimento econômico de uma determinada economia, existiria uma relação positivamente correlacionada entre o crescimento econômico e um determinado indicador de degradação ambiental. Assim, maior renda seria traduzida em maior depreciação ambiental. Entretanto, esta relação é marginalmente decrescente, ou seja, na medida que o crescimento econômico ocorre, a inclinação desta relação irá diminuir até alcançar um *turning-point*<sup>17</sup>. Além deste ponto, a relação entre o crescimento econômico e degradação ambiental passa a ser

---

<sup>17</sup> Ou ponto de máximo.



negativamente correlacionada. Isto é, a partir de um determinado ponto do processo de crescimento econômico, maior nível de renda é traduzido numa melhoria na qualidade ambiental (Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Banco Mundial, 1992; Grossman & Krueger, 1993; Selden & Song, 1994).

Esta diminuição gradual dos níveis de degradação ou depreciação ambiental ao longo do processo de crescimento econômico seria resultado de uma série de fatores: mudanças na estrutura de preferência dos consumidores; surgimento de novas tecnologias (“achatamento” da EKC); e, alterações nos processos produtivos e econômicos, especificamente uma mudança na composição dos bens e serviços ofertados (Shafik, 1994).

### **2.5.1 Alterações na produção**

Cada nível de renda é associado a um determinado tipo de degradação ambiental (Shafik, 1994). Assim, nos estágios iniciais do crescimento econômico haveria um aumento natural na utilização dos recursos naturais (tais como a extração mineral e vegetal, e utilização da terra para a agricultura). Os indicadores de degradação ambiental (como os níveis de desmatamento, erosão e lixiviação da terra) tenderiam a aumentar neste período.

Entretanto, em nível maior de renda haveria uma mudança nos processos produtivos e econômicos; ocorre uma mudança na base produtiva do país, ela passa a se industrializar.

Essa transformação não ocorre de graça, existe um custo de oportunidade de abandonar as atividades tradicionais. A transição irá ocorrer a partir do momento em que a renda gerada na indústria superar o custo de oportunidade da atividade anterior.

Desse modo, racionalmente, o indivíduo abandonará a agricultura e passará para indústria pelos ganhos de renda que ela pode lhe proporcionar (Shafik, 1994).

Nesse estágio o tipo de degradação mais associada seria o aumento das emissões associadas com atividades industriais (tais como CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>). A demanda energética costuma também crescer nesta fase.

Caso a economia continue seu processo de crescimento, ocorreria uma terceira situação: aquela em que a economia passa a depender menos dos setores produtivos (agricultura, extração e indústria) e passa a se capitalizar (acumular renda). Assim, em níveis maiores de renda, na proporção que o crescimento econômico ocorre, há um aumento da participação do setor de serviços na economia (venda de tecnologia, *royalties* e serviços financeiros). Nesses setores, o nível de degradação ambiental é extremamente baixo, não havendo um tipo associado para estas atividades (Shafik, 1994; Matsuoka, 1997). Tal relação, no entanto, deve ser melhor explorada, uma vez que o setor de serviços (como no caso do turismo) pode também ser intensivo na utilização de recursos naturais (principalmente energia).

Esta transição para uma economia de serviços não é natural e simples. Do mesmo modo que ocorre com a industrialização, existe uma motivação para ocorrer. Essencialmente, ela resulta de dois fatores: um é devido aos maiores rendimentos que o setor de serviços oferece; o outro é a pressão que a sociedade faz sobre as empresas e as autoridades no intuito de reduzir os níveis de degradação ambiental (relação que será melhor explorada a seguir).

Esta pressão da sociedade pode resultar em leis mais rígidas, aumentando os custos de produção. Além disso, os consumidores rejeitam os bens e serviços resultantes de atividades geradoras de degradação. O resultado destes fatores é um menor custo de oportunidade de abandonar a atividade geradora de depreciação

ambiental. E, quanto menor for o custo de oportunidade do setor produtivo, maior será a suscetibilidade dos agentes econômicos passarem ao setor de serviços.

Em termos gerais, pode-se dizer que um país ou região faz uma transição de uma economia inicialmente agrícola e de extração, para uma industrial intensiva em energia e finalmente para uma pós-industrial ou de serviços intensivas em tecnologia, ao longo de seu crescimento econômico (Matsuoka, 1997; Borguesi, 1999).

No Brasil, este fenômeno pode ser verificado no gráfico a seguir (Figura 7). Além do crescimento do PIB per capita (principalmente a partir da década de 70, conhecida como a época do “milagre” econômico), houve uma alteração na composição econômica do país. No período, a participação da agricultura no PIB brasileiro diminuiu, enquanto a indústria cresceu. Entretanto, já dava sinais claros de maior crescimento relativo do setor de serviços.

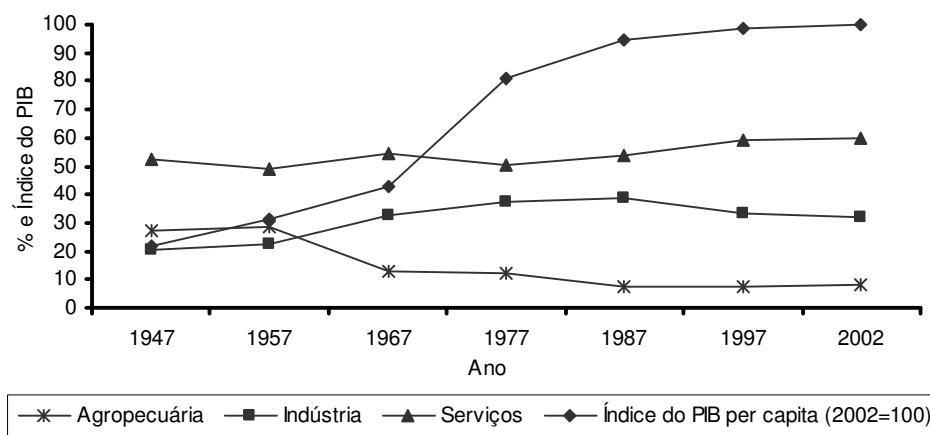


Figura 7 - Participação setorial no PIB (em %) e o índice do PIB per capita (2002=100), 1947-2002.

Fonte: elaborado com dados do Anuário Estatístico do Brasil (1947-2002)

Além dessas mudanças, segundo a ótica da teoria da produção, o surgimento de novas tecnologias seria outro importante fator para a ocorrência da EKC. Além de terem efeitos positivos para o crescimento econômico, são mais eficientes e, assim, emitem menos poluentes e demanda menos energia e recursos naturais, aliviando de forma considerável a pressão sobre o meio-ambiente. Assim, uma trajetória inicial da EKC é alterada com a inovação tecnológica, modificando o *turning-point* em um nível mais baixo.

Países de menor renda poderiam aprender com os fatos ocorridos nos países mais adiantados no processo de crescimento econômico evitando que os tipos de poluição mais graves venham a acontecer (Munasingue, 1999). Ao longo do tempo, a evolução tecnológica seria passada aos países de menor renda. O resultado disto é a chamada tendência de “achatamento” da EKC (Matsuoka, 1997) (Figura 8).

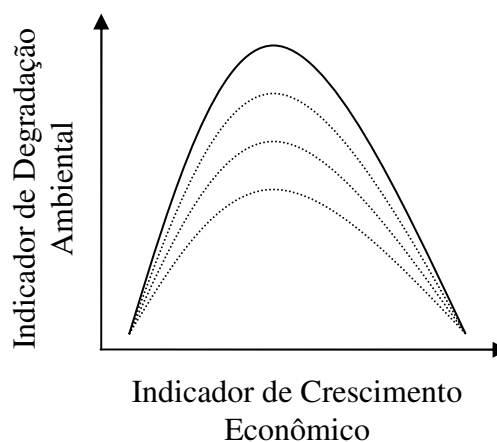


Figura 8 - Os efeitos da tecnologia ou “achatamento” da EKC.

Fonte: adaptado de Matsuoka (1997)

Isto é, os estágios de crescimento econômicos de um país não são um processo determinístico em que todos os países devem passar para alcançar um nível de

renda mais alto. Os estágios mudam de acordo com a criação de novas tecnologias ao longo do tempo (Unruh & Moomaw, 1998).

O efeito da tecnologia, reduzindo a degradação ambiental é geralmente positivo ao longo do tempo. Assim, a trajetória de uma relação entre renda e degradação ambiental pode mudar ao longo do tempo (Figura 9) (Bruyn et al., 1998).

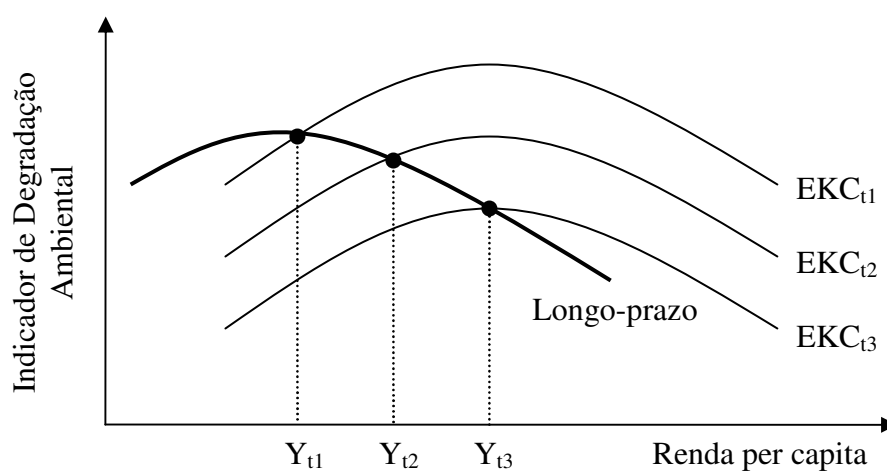


Figura 9 - Efeitos do “achatamento” em uma relação *cross-time* para diversas EKC's.

Fonte: adaptado de Bruyn et al. (1998)

Essencialmente existiriam dois motivos para explicar a existência deste fenômeno; uma explicação seria uma mudança na estrutura de demanda dos consumidores (que passam a demandar uma maior qualidade ambiental) (John & Pecchenino, 1994; Opshoor, 1998; Selden & Song, 1994), forçando a criação de novas tecnologias menos poluentes para atender esta nova estrutura de demanda.

Outro motivo seria uma simples e óbvia ocorrência na economia dos recursos naturais e ambientais: uma situação de escassez de recursos que tráz reflexos sobre os seus preços. Altos preços implicam em custos maiores, gerando um incentivo à

adoção de tecnologias mais eficientes. A adoção destas tecnologias ocorre, então, quando os ganhos provenientes da economia com a diminuição no uso destes recursos forem superiores ao custo da adoção desta nova tecnologia.

### **2.5.2 Alterações na estrutura de consumo individual**

Existem evidências de que a demanda por qualidade ambiental se comporta como um bem normal ou de luxo (Opshoor, 1998). Dessa forma, quanto maior for a renda do indivíduo maior será a sua demanda por qualidade ambiental (John & Pecchenino, 1994; Opshoor, 1998). Ou seja, a elasticidade renda da demanda por qualidade ambiental é positiva (Selden & Song, 1994).

Essa maior demanda irá se traduzir em maior pressão sobre as autoridades (podendo ser durante o processo das eleições, na escolha de representantes com plataformas de atuação mais preocupadas com o ambiente; ou diretamente, na forma de protestos) ou sobre as empresas (na forma de uma demanda por maior responsabilidade ambiental).

A pressão exercida pela sociedade vai se tornar uma ação de fato, por sua vez, quando os custos de abatimento da degradação ambiental forem inferiores aos ganhos marginais de utilidade das pessoas em não mais conviverem num ambiente degradado (Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Shafik, 1994; Gawande et al., 2001).

E como quanto maior for o nível de renda de uma sociedade maior será a sua demanda por qualidade ambiental, novas tecnologias surgem e são adotadas ao longo deste processo. Pode-se dizer que a partir de um certo nível de renda é possível crescer economicamente degradando menos o meio-ambiente (a parte descendente da EKC).

Assim, a melhoria ambiental fruto da alteração dos sistemas produtivos é induzida por uma mudança no comportamento dos consumidores/indivíduos de maior renda de se distanciarem da degradação ambiental (Gawande, 2000).

### 2.5.3 EKC e as relações de troca

*Ceteris Paribus*, a EKC seria o caminho natural que as economias seguiriam. Todavia, todos pressupostos até agora só seriam válidos caso a economia fosse fechada ou se não houvesse diferenciação entre elas (mesma renda, base tecnológica e produtiva, e mesmas características geográficas e populacionais)<sup>18</sup> (Stern et al., 1996).

Entretanto, elas não são iguais. Elas possuem grandes diferenças que fazem que cada uma possua características próprias que as tornam mais ou menos competitivas na produção de um determinado tipo de produto ou bem. Isso, de certa forma, é um incentivo ao comércio internacional<sup>19</sup>. Assim, diferentes países (com diferentes níveis de renda, de nível tecnológico, de matriz produtiva) passarão a negociar os seus produtos e serviços no mercado internacional.

Nestas relações de trocas, há uma quebra de diversos pressupostos até agora colocados. O principal deles é que os produtos consumidos por uma determinada economia podem ser produzidos em qualquer outro lugar.

Assim, a degradação ambiental relacionada com um maior consumo (demanda) de produtos de origem industriais não irão necessariamente seguir uma EKC,

---

<sup>18</sup> Assim cada região deveria ter sua própria EKC (Stern et al., 1996).

<sup>19</sup> Pois segundo o modelo H.O. (Herckesher-Ohlin) os países tendem a produzir o bem/serviço intensivo na utilização de seu fator de produção mais abundante (Findlay, 1995).

pois não mais irá existir o interesse das comunidades demandadoras em abater a poluição (uma vez que elas não estão localizadas na fonte da degradação).

As comunidades locais (produtoras), que não mais queiram conviver com essa degradação de origem industrial, irão traduzir os seus anseios sobre a forma de pressão sobre as autoridades. As autoridades, por sua vez, passam a regulamentar determinados setores que a sociedade considere que a renda obtida com eles não compense a perda do nível de utilidade devido as externalidades negativas geradas por eles (Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Shafik, 1994; Gawande et al., 2001).

Os setores regulamentados passam a ser menos competitivos em relação a outros. Assim, o investidor simplesmente sai desta atividade ou move os seus investimentos para uma localidade com menor regulamentação ambiental<sup>20</sup> (Grossman & Krueger, 1993).

Surge, assim, um novo paradigma para o comércio internacional (e mesmo de composição da produção), a regulamentação ambiental passa a ser determinante da vantagem comparativa e absoluta de cada país. Haverá uma especialização na produção do bem ou serviço que é intensivo na utilização do bem mais abundante e ao mesmo tempo, tiver menor regulamentação ambiental (Grossman & Krueger, 1993).

Ao se incentivar o comércio internacional, observa-se então que algumas regiões (as de maior nível de renda) usufruirão uma melhora na qualidade ambiental pela re-alocação das indústrias para outras regiões sem afetar o consumo das pessoas, entretanto, outras (as de menor renda), aceitarão estas indústrias pela renda que elas trarão, havendo uma piora em sua qualidade ambiental.

---

<sup>20</sup> Partindo do pressuposto que exista mobilidade dos fatores de produção, principalmente de capital.



Em termos globais, podemos dizer que a globalização tem tanto efeitos positivos, quanto negativos para a qualidade ambiental (Jayadevappa & Chhatre, 2000).

Todavia, nesta transferência, além dos equipamentos, são levados juntos a tecnologia de produção e como as novas tecnologias, como já mencionado, seriam mais eficientes (gerando uma menor degradação ambiental), de certa forma os países de menor renda se beneficiariam com o comércio internacional (além do ganho de renda) com a absorção de novas tecnologias menos poluidoras.

Os países de maior renda, pela sua abundância de capital financeiro, social e humano e ser altamente regulamentado na utilização de alguns recursos ambientais e na emissão de alguns poluentes, possuem vantagens comparativas e absolutas na produção de tecnologias e serviços bancários. Esses, por sua vez, vendem estes serviços (tecnologia, capital) para os países em crescimento promoverem a sua industrialização. Esses obtêm renda através da venda de produtos manufaturados para os outros países, ou mesmo com o consumo local.

Isto, até que o seu nível de renda permita que ele se capitalize, aliado a uma pressão da sociedade por qualidade ambiental, e a economia passe a des-industrializar, virando uma economia pós-industrial, passando a uma condição de criador e vendedor de serviços.

#### 2.5.4 Fontes de ineficiência e externas de viés da EKC

Existem evidências de que a qualidade ambiental tenderia a uma melhora a longo-prazo<sup>21</sup>. Sejam pelas mudanças estruturais na economia ou pela mudança do comportamento do consumidor.

Entretanto, não é o que sempre ocorre. Existem alguns fatores como: liberdade civil, definição dos direitos de propriedade e, principalmente, falhas de mercado associado ao problema com a não-exclusividade e não-rivalidade dos bens que interferem no equilíbrio das relações renda e degradação ambiental (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Selden & Song, 1994).

Dessa forma, a EKC poderia ter outros formatos além do “U” invertido (Bruyn et al., 1998). A figura 10a é uma relação positivamente correlacionada onde o ganho da manutenção da atividade econômica geradora de degradação é muito maior que a des-utilidade das pessoas em conviver com esta poluição. A 10b, uma relação negativamente inclinada, mostra um tipo de degradação cuja atividade geradora só é utilizada nos primórdios do crescimento econômico. A 10c seria a EKC tradicional e a 10d mostra uma relação chamada em “N”, que inicialmente mostra ser uma relação em “U” invertido e, a partir de um determinado ponto, à relação entre renda e degradação volta a ser positivamente correlacionada.

---

<sup>21</sup> Como mostram alguns estudos empíricos (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Selden & Song, 1994; Grossman & Krueger, 1995).

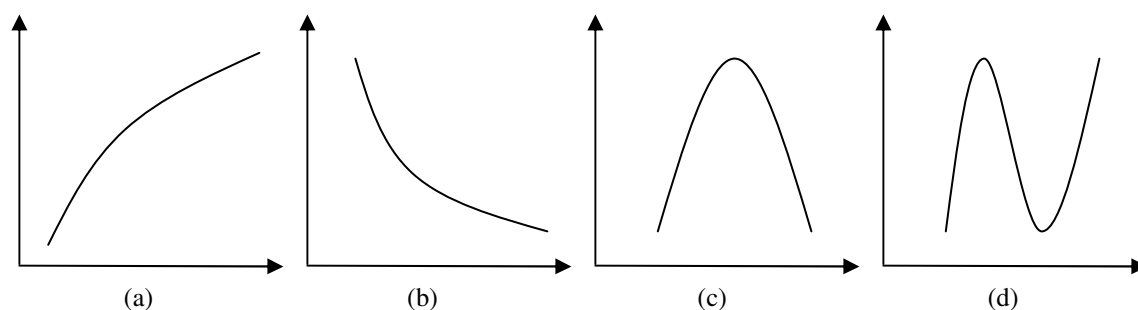


Figura 10 - EKC para diversas relações renda/meio-ambiente.

Fonte: Bruyn et al. (1998)

Estritamente existem dois motivos para que a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental não tenda a uma relação negativa no longo-prazo. Um, seria decorrente das ineficiências de mercado que impossibilitam a existência de mecanismos de auto-ajuste da economia que faz com que, a longo-prazo, haja uma melhora na qualidade do meio-ambiente, conhecidos naturalmente como ineficiências. O outro motivo, chamado de viés, são aqueles independentes do mercado, são frutos de fatores exógenos.

#### 2.5.4.1 Fontes de ineficiência

Ineficiência é toda aquela situação aonde os mecanismos de ajuste econômico não conseguem fazer com que a degradação ambiental seja abatida no longo-prazo. Ou seja, há uma impossibilidade da internalização das externalidades negativas nos preços. Fatores como excesso de liberdade civil, não-exclusividade no consumo e a atenuação dos direitos de propriedade, entre outros são fontes de ineficiência que afetam e muito o equilíbrio das relações renda e degradação ambiental que devem ser melhor explorados.

a) Não-rivalidade e não-exclusividade no consumo e o excesso de liberdade civil

Não-rivalidade é aquela situação onde o consumo de um bem por indivíduo não extingue a possibilidade de outro indivíduo extrair utilidade com o consumo deste bem. Ou seja, todos são beneficiados com a sua oferta (ex: luz do Sol, parque nacional, qualidade ambiental). É considerado um atributo físico do bem (Randall, 1987).

Como todos são beneficiados com a sua oferta, sua demanda agregada será a soma vertical das demandas individuais (ao contrário dos bens rivais que é a soma horizontal) (Figura 11) (Randall, 1987).

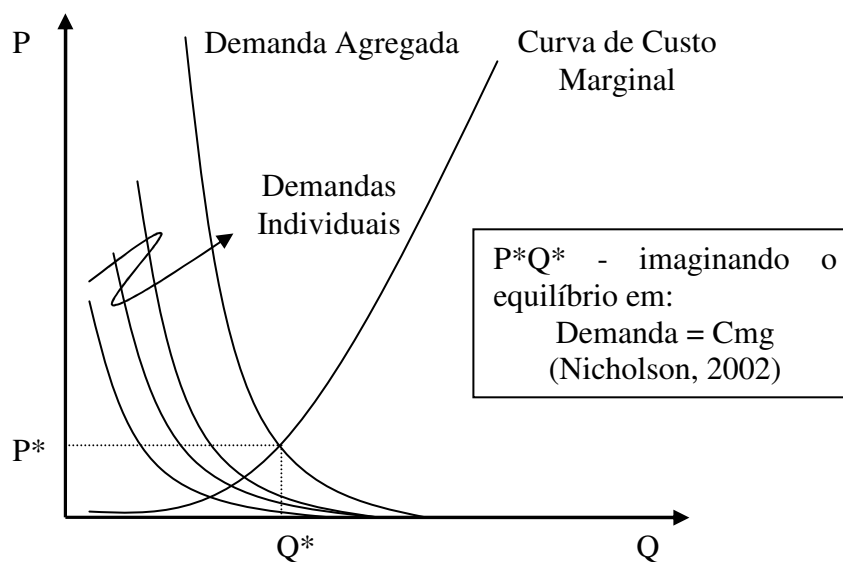


Figura 11 - Ajuste ótimo dos bens não-rivais.

Fonte: Randall (1987)

A ineficiência da não-rivalidade de um recurso está exatamente na estimação da sua demanda. Pois, para cada indivíduo, um determinado recurso natural

ou ambiental possui uma utilidade e, como geralmente indivíduos tendem a não revelar a sua real demanda por este recurso, o preço atribuído a este bem tende a ser inferior ao valor atribuído pela sociedade; o que leva à sua sobre-exploração (Randall, 1987).

Os recursos não-excludentes são aqueles cujo consumo não está restrito a apenas um agente econômico (Randall, 1987). Uma situação onde há a impossibilidade de tornar privado o benefício de um determinado bem ou recurso (ex: o pôr-do-sol, a beleza de um parque nacional, a preservação das espécies).

É geralmente associado à atenuação dos direitos de propriedade, existindo então uma impossibilidade de se impor preço sobre o bem, uma vez que não oferece remuneração ou benefícios para o agente que estaria disposto a pagar por sua produção ou conservação. Levando a uma taxa de exploração acima da média e a impossibilidade de se utilizar o mecanismo de preços para racionar a sua escassez (Randall, 1987).

Associadas a um excesso de liberdade civil, estas características dos bens levará a um menor controle no comportamento e consumo dos agentes econômicos, induzindo uma utilização não racional do bem ou recurso (Shafik & Bandyophadyay, 1992).

Como os recursos naturais e ambientais, em alguns casos, possuem as características de um bem não-rival e não-excludente, podemos dizer que todos estes pressupostos assumidos são validos para ele. Assim, a tendência natural dos agentes seria de não preservar ou manter a qualidade destes recursos. Pois tal comportamento não apenas beneficiaria a ele próprio, mas todas as pessoas que tivessem acesso a essa melhoria. E o excesso de liberdade civil aliado a uma atenuação dos direitos de propriedade só tenderia a piorar o problema.

Há evidências de que países mais democráticos tenderiam a ter associações de interesse que impediriam o controle e regulamentação de certos setores, impossibilitando a internalização destas externalidades no preço dos bens ou serviços que geram externalidades em sua produção (Shafik & Bandyopadhyay, 1992).

b) Localização e abrangência das externalidades.

Ainda falando da impossibilidade da internalização das externalidades negativas, existe o problema associado à localização geográfica da fonte geradora desta externalidade e a abrangência ou localização da população afetada por esta externalidade (Jayadevappa & Chhatre, 2000).

Caso a externalidade seja unilateral, ou seja, quando a própria população geradora é afetada pela externalidade, a tendência seria de que as comunidades locais teriam uma maior predisposição a fazer pressão sobre as autoridades locais para regulamentar tal atividade. Entretanto, existem situações que as externalidades não são unilaterais. Chamados de multilaterais, são situações onde a externalidade afeta mais de uma localidade além do país gerador, ou outras em que apenas outro país é afetado (Mäler, 1993; Jayadevappa & Chhatre, 2000).

Nos casos onde a externalidade gerada não afeta diretamente a população geradora haveria uma grande dificuldade na negociação entre os setores geradores e os afetados, isto porque não haveria benefício direto da população local em se abdicar do consumo ou produção de um determinado bem ou produto em prol dos demais (Jayadevappa & Chhatre, 2000).

Complexas também são as situações onde as externalidades além de afetar a população local, afetam a população de outra economia. Ou seja, situações as quais a jurisdição do país não coincide com a área afetada, resultando em uma situação

onde existem mais de uma autoridade para legislar sobre o problema (como o caso da biodiversidade, do efeito estufa e do buraco na camada de ozônio). Estas situações são fonte de ineficiência, pois podem levar a uma falta de coordenação entre as partes, envolvendo uma série de diferentes interesses, culturas, níveis de renda e composição da atividade produtiva e econômica (Mäler, 1993; Javadevappa & Chhatre, 2000).

Ambos os casos, necessitariam de tratados multilaterais para se chegar a um consenso entre as partes. Todavia, as diferenças entre eles fazem com que as diferentes regiões atribuam diferentes ponderações para a qualidade ambiental, resultando em diferentes ganhos líquidos marginais para a redução da externalidade e para a atribuição de valor para a qualidade do meio-ambiente (Mäler, 1993; Javadevappa & Chhatre, 2000).

Intertemporalmente, esses problemas também ocorrem. Uma externalidade negativa fruto do consumo ou produção de um bem ou serviço num dado período presente pode não afetar diretamente a população em um dado período, ela pode afetar as gerações futuras ou num horizonte de tempo muito longo. E como as premissas em relação ao futuro são incertas e, intertemporalmente, as pessoas tendem a valorizar o consumo presente, não há um mecanismo de internalização das externalidades negativas nos preços num dado período presente. Apesar de haver uma certa dose de altruísmo dos pais em relação aos seus filhos (Stokey, 1998).

#### **2.5.4.2 Fontes externas de viés**

##### **a) A “Armadilha da Especialização”**

A “Armadilha da Especialização” é uma crítica ao modelo que pressupõe que todas as economias se desenvolvem inicialmente de uma economia agrícola ou extrativa para uma industrial e finalmente para uma pós-industrial ou de serviços.

Isto claramente ocorreu nas economias “pioneiras” no processo de crescimento econômico, entretanto, as economias de menor renda caem exatamente nesta “armadilha” pois elas se especializarão na produção de bens agrícolas e extrativos ou mesmo industriais por não poderem competir com os países de maior renda na produção de bens e serviços mais elaborados (Murandian & Martinez-Alier, 2001).

E como estes produtos e serviços mais elaborados (que inclui o tecnologia e o capital financeiro) produzidos pelos países de maior renda são extremamente mais onerosos que os produtos e serviços produzidos pelos países de menor renda, há uma tendência de que os países em processo de crescimento acumulem um grande déficit da balança de pagamentos. O que forçaria ainda mais estes países a explorar seus recursos naturais e a aceitar as indústrias geradoras de degradação ambiental para poder financiar parte deste déficit, se especializando ainda mais em sua produção (Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Murandian & Martinez-Alier, 2001).

Ou, simplesmente, porque certas características do país fazem com que ele seja extremamente competitivo na produção de um determinado bem que impossibilite a sua transição para um outro estágio “natural” do processo de crescimento econômico.

#### b) Densidade demográfica

A densidade demográfica influencia especialmente os níveis de poluição. Entretanto, as formas de medir a degradação ambiental pela poluição podem ser influenciadas de diferentes formas.

Se medida pela quantidade absoluta de poluentes, ou seja, pela sua concentração no ar. A densidade populacional, naturalmente, tenderá a ter efeitos



negativos sobre a degradação ambiental. Assim, uma maior concentração de poluentes é explicada por uma maior concentração de pessoas. Pois, de forma absoluta, a quantidade aumenta e, como a área (em consequência o volume) não aumentam, a concentração irá aumentar.

Já para outra forma de medida, a quantidade emitida de poluentes ou o uso de recursos naturais, a densidade demográfica parece ter efeitos positivos para a redução da quantidade de poluentes emitidos. Populações que vivem mais espaçadas são mais difíceis de serem policiadas. Além de serem menos preocupadas quanto à qualidade ambiental, uma vez que a concentração de poluentes são menores (Selden & Song, 1994).

Outro efeito importante são as economias de escala. Populações mais adensadas possuem menores gastos de emissões e uso de combustíveis associados ao transporte, pelas distâncias serem menores e, dessa forma, há redução das perdas nos sistemas (Selden & Song, 1994). Todavia, pode também haver perda de eficiência uma vez que existe o problema dos congestionamentos nos grandes centros urbanos.

### c) Legislações e políticas governamentais

Existem situações onde a ação de grupos de interesse sobressai aos interesses gerais da população, ou mesmo casos onde acordos multilaterais<sup>22</sup> são assinados sem novamente refletir os anseios das pessoas do país. Nestas situações, as legislações e políticas governamentais não são resultantes das aspirações da população. Elas são resultados de fatores externos não explicados por uma mudança no comportamento das pessoas devido ao crescimento de sua renda.

---

<sup>22</sup> De controle de emissões, ou diminuição de valores absolutos de poluentes, taxas de utilização dos recursos naturais.

As mudanças na trajetória dos índices de degradação ambiental não seriam explicadas por uma alteração no nível de renda. Seriam resultado de novas legislações e políticas externas ao modelo (Unruh & Moomaw, 1998).

Isto implica que esses eventos externos ao modelo é que estariam explicando uma alteração nos níveis de degradação ambiental, estabelecendo uma nova trajetória. Podemos chamar estas novas políticas de um fator de atração, ou, “*attractor*” (Unruh & Moomaw, 1998).

#### d) Fontes naturais de viés

Um outro problema que afeta a relação renda e degradação ambiental não é fruto de nenhuma interação consumo ou produção com as externalidades e o meio-ambiente. É resultado de algo que o homem não pode controlar.

Chamados de fontes naturais de viés, elas são frutos de mudanças nos processos naturais de nosso planeta (ex: as movimentações climáticas, o regime das chuvas, eras glaciais). Por muitas vezes uma melhora ou piora da qualidade ambiental não é fruto de qualquer mudança ou mesmo atuação do homem no meio. A mudança seria resultante de uma variável externa, viesando os resultados finais de uma análise entre renda e degradação ambiental (Grossman & Krueger, 1995).

## **2.6 Resultados e estudos empíricos**

### **2.6.1 Modelagem (modelo reduzido)**

Uma série de estudos foram e vêm sendo realizados nas relações entre renda e degradação ambiental. Entre eles destacam-se alguns como Shafik &

Bandyophadyay (1992), Shafik (1994), Selden & Song (1994), Grossman & Krueger (1993) e Grossman & Krueger (1995).

Conhecidos como modelos reduzidos, eles nada mais expressam que uma relação causal entre renda e degradação ambiental utilizando algumas variáveis que podem explicar esta relação. Idealmente, é sugerida a utilização de modelos de equações simultâneas (Borguesi, 1999). Todavia, devido à disponibilidade de dados, a forma reduzida é a melhor aproximação para a extração desta relação.

Shafik & Bandyophadyay (1992) e Shafik (1994) fizeram esta análise em *cross-section* para dez indicadores (escassez de água doce, escassez de tratamento de água, desmatamento total e anual, oxigênio dissolvido na água, coliformes fecais na água, partículas sólidas no ar, dióxido de enxofre no ar, quantidade per capita de lixo despejada e as emissões per capita de carbono) em 149 países, entre os anos de 1960-1990.

Para o seu trabalho foi utilizado um modelo onde haviam três variáveis determinadoras da qualidade ambiental; o vetor de características e políticas individuais dos países  $i$  ( $F_i$ ), renda do país  $i$  ( $Y_i$ ) em um período  $t$ , variável temporal ( $T$ ) como uma *proxy* para tecnologia de país  $i$  em um período  $t$ . Foram testadas as hipóteses de um modelo linear em (4), quadrático em (5) e cúbico em (6):

$$E_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_{i,t} + \alpha_2 T_{i,t} + \alpha_3 F_i + e_{i,t} \quad (4)$$

$$E_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_{i,t} + \beta_2 (\ln Y_{i,t})^2 + \beta_3 T_{i,t} + \beta_4 F_i + e_{i,t} \quad (5)$$

$$E_{i,t} = \phi_0 + \phi_1 \ln Y_{i,t} + \phi_2 (\ln Y_{i,t})^2 + \phi_3 (\ln Y_{i,t})^3 + \phi_4 T_{i,t} + \phi_5 F_i + e_{i,t} \quad (6)$$

Onde :

$E_{i,t}$  = indicador ambiental para um país  $i$  em um período  $t$ .

Em Grossman & Krueger (1995) foi feita uma análise em painel para diversos países do mundo com dados do *Global Environmental Monitoring System* (GEMS). Analisando apenas as relações entre renda e degradação ambiental para água e qualidade do ar.

Neste trabalho, além da *time-trend* foram adicionadas outras variáveis como: localização da cidade onde foram coletados os dados (uma cidade central ou não, se posicionada na costa, a menos de 100 milhas de um deserto)<sup>23</sup>, características da utilização do seu terreno (comércio, indústria, residências), e a densidade populacional. E, como a renda de um determinado ano é extremamente correlacionada com os anos posterior e anterior, foi adicionada uma variável extra, que é uma média destes três anos. Chegando ao seguinte modelo funcional em (7):

$$Y_{it} = G_{it}\beta_1 + G_{it}^2\beta_2 + G_{it}^3\beta_3 + \overline{G_{it}}\beta_4 + \overline{G_{it}}^2\beta_5 + \overline{G_{it}}^3\beta_6 + X_{it}\beta_7 + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Onde:

$Y_{it}$  é o indicador ambiental para o país  $i$  no ano  $t$ ;

$G_{it}$  é a renda (medida em termos per capita do PNB em US\$) para o país  $i$  no ano  $t$ ;

$\overline{G_{it}}$  é a média da renda (medidas em termos per capita do PNB em US\$) dos anos  $t-1$ ,  $t$  e  $t+1$  para o país  $i$ ;

$\beta_x$  são os parâmetros a estimar; e,

$X_{it}$  é o vetor das outras variáveis.

Em outro trabalho Grossman & Krueger (1993) analisa os impactos que o NAFTA (*North American Free Trade Agreement*) poderia trazer para a qualidade

<sup>23</sup> Características que trazem impactos na dispersão dos poluentes (Grossman & Krueger, 1995).

ambiental. Os autores utilizaram o modelo citado anteriormente, adicionado de duas variáveis: o grau de abertura econômica do país (medidos pela razão da soma das exportações e importações do país sobre o PNB) e se ele está ou não sob a tutela de um governo comunista. Entretanto, só foram estimados indicadores de qualidade do ar.

Selden & Song (1994) estimaram um modelo muito semelhante aos mencionados acima. É feita uma análise em painel para diferentes países do mundo utilizando os mesmos dados do GEMS, já mencionados. Como variável principal, além da renda, foi utilizada a densidade demográfica. E, ao contrário dos outros modelos, atribuem as características do país e o efeito do ano como parte do erro total (modelo de médias móveis). Estes erros foram medidos como variáveis *dummy*. O modelo adotado foi o seguinte em (8) e (9):

$$m_{it} = Y_{it}\beta_1 + Y_{it}^2\beta_2 + Y_{it}^3\beta_3 + d_{it}\beta_4 + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$\varepsilon_{it} = c_i + v_i + u_{it} \quad (9)$$

Onde:

$m_{it}$  é o indicador ambiental para o país  $i$  no ano  $t$ ;

$Y_{it}$  é a renda (medida em termos *per capita* do PNB em US\$) para o país  $i$  no ano  $t$ ;

$\beta_x$  são os parâmetros a estimar;

$d_{it}$  é a densidade demográfica do país  $i$  no ano  $t$ ;

$\varepsilon_{it}$  é o erro aleatório do país  $i$  no ano  $t$ ;

$c_i$  é a *dummy* para as características do país;

$v_i$  é a *dummy* para os efeitos de cada ano; e,

$u_{it}$  é o erro final.

## 2.6.2 Resultados dos estudos empíricos

Para o caso da escassez da água e do acesso ao sistema público de saneamento o melhor ajuste encontrado foi uma relação linear negativamente inclinada. Ou seja, maior a renda maior será o acesso à rede de água e esgotos e maior será a qualidade ambiental. Sendo que a tecnologia mostrou-se eficiente na redução dos indicadores. Resumindo, houve o deslocamento da EKC (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994).

Para os indicadores de desmatamento, tanto em termos per capita como total, o melhor ajuste foi o quadrático, sendo assim a EKC tradicional. Com um *turning-point* de US\$ 1.380,33 *per capita*. Neste caso, a tecnologia não se mostrou eficiente no abatimento da poluição (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994).

O caso da qualidade da água (oxigênio dissolvido e coliformes fecais), entretanto, mostrou-se preocupante. Para a quantidade de oxigênio dissolvido, o melhor ajuste ocorreu com o modelo linear negativamente correlacionado. Isto significa que a quantidade de OD tende a diminuir com o crescimento da renda, traduzindo em pior qualidade ambiental (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Grossman & Krueger, 1995).

Já o caso da quantidade de coliformes fecais na água o melhor ajuste foi o “N”. Isto significa que inicialmente a relação seguia uma tendência em “U” invertido, todavia, a partir de certo nível de renda<sup>24</sup> houve a necessidade de uma nova inversão na relação renda e degradação ambiental para a manutenção do crescimento.

Neste caso, entretanto, a tecnologia não apenas não foi fator de redução das emissões como foi um fator de expansão desta, ou seja, as novas tecnologias

---

<sup>24</sup> Aproximadamente US\$ 10.000,00 (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Grossman & Krueger, 1995).

adotadas são intensivas na emissão de esgotos (resultando em maiores níveis de coliformes) (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Grossman & Krueger, 1995).

Para a qualidade de partículas suspensas no ar o melhor ajuste encontrado foi o quadrático em “U” invertido (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Selden & Song, 1994). O *turning-point* estimado foi de US\$ 2.980,00, sendo que a tecnologia mostrou-se bem efetiva na redução da poluição. A redução foi de aproximados  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas suspensas no ponto de máximo em 1972 para aproximados  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 1986 (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994). A densidade populacional também parece ter sido positiva para a redução das emissões (Selden & Song, 1994).

Já para o caso das emissões de carbono, ao contrário dos demais indicadores de qualidade do ar, o ajuste estatisticamente mais significativo, ocorreu com um modelo linear crescente, ou seja, maiores níveis de renda maiores serão as emissões de carbono e menor será a qualidade do ar. Isto se deve ao fato de que as emissões de carbono, diferente do caso das partículas suspensas no ar e de  $\text{SO}_2$ , afetam o ambiente globalmente. Ou seja, a emissão feita pelo agente econômico afeta o ambiente todo e não apenas localmente. Entretanto, aqui a tecnologia tende a ser eficiente na redução dos níveis de degradação, houve deslocamento da EKC (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994; Grossman & Krueger, 1995).

Para a quantidade de dióxido de enxofre no ar o melhor ajuste estimado foi a relação “N”. Seu primeiro *turning-point* foi estimado em US\$ 4.053,00 em um nível de  $25 (\mu\text{g}/\text{cm}^3)$  e seu segundo *turning-point* ocorre a aproximados US\$ 14.000,00 (Grossman & Krueger, 1995).

A localização costeira da cidade foi estimada como favorável à redução de dióxido de enxofre no ar, a localização no deserto por sua vez parece não ter efeito, já

as cidades centrais mostraram ter maior concentração deste poluente. Logicamente regiões industriais têm uma maior carga no ar, enquanto as residenciais uma menor carga. A densidade populacional também parece contribuir para uma maior concentração deste poluente no ar. A *time-trend* segundo a estimativa existe, ou seja, há presença de “achatamento” (Grossman & Krueger, 1995).

Outros estudos, no entanto encontram evidências de um “U” invertido tanto para emissão de carbono (Selden & Song, 1994) e de dióxido de enxofre (Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Shafik, 1994; Selden & Song, 1994). Neste caso, tanto a *time-trend* (Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Shafik, 1994; Selden & Song, 1994) quanto à densidade populacional parecem ter efeitos positivos para a melhoria da qualidade ambiental (Selden & Song, 1994).

Quanto aos impactos de uma suposta abertura econômica para a qualidade do ar, evidências mostraram o que estava previsto. Houve uma transferência da poluição dos países de maior renda para os países de menor renda. Ou seja, os países de maior renda se beneficiaram com a abertura econômica. Quanto à variável governamental, segundo as estimativas, regimes comunistas parecem ter maior concentração deste poluente em relação a regimes mais abertos (Grossman & Krueger, 1993).

Veja a seguir, um resumo com um comparativo para alguns resultados dos estudos empíricos realizados para a emissão de carbono (Quadro 2) e emissão de enxofre (Quadro 3).



Autor	Melhor Ajuste	<i>Turning-point</i> <sup>a</sup>	<i>Time-trend</i> <sup>b</sup>	Densidade Populacional <sup>b</sup>	Grau de Abertura <sup>b</sup>
Shafik & Bandyophadyay (1992); Shafik (1994)	Positivo Linear	-	Negativo	-	-
Grossman & Krueger (1993)	Positivo Linear	-	Negativo	Positivo	Negativo
Grossman & Krueger (1995)	Positivo Linear	-	Negativo	Positivo	-
Selden & Song (1994)	“U” invertido	2.319	Negativo	Negativo	-

Quadro 2 - Resultados de diversos estudos empíricos para a relação emissão de CO e renda.

<sup>a</sup> em US\$ de 1985

<sup>b</sup> Se estes coeficientes forem negativos, maiores os seus valores, menores serão as emissões. Se for positivo, maiores serão as emissões.

Autor	Melhor Ajuste	<i>Turning-point</i> <sup>a</sup>	<i>Time-trend</i> <sup>b</sup>	Densidade Populacional <sup>b</sup>	Grau de Abertura <sup>b</sup>
Shafik & Bandyophadyay (1992); Shafik (1994)	“U” invertido	4.000	Negativo	-	-
Grossman & Krueger (1993)	Positivo Linear	-	Negativo	Positivo	Negativo
Grossman & Krueger (1995)	Positivo Linear	-	Negativo	Positivo	-
Selden & Song (1994)	“U” invertido	-11.025	Negativo	Negativo	-

Quadro 3 - Resultados de diversos estudos empíricos para a relação emissão de SO<sub>2</sub> e renda.

<sup>a</sup> em US\$ PPP (*Purchasing Power Parity*) (Shafik & Bandyophadyay, 1992; Shafik, 1994) e US\$ de 1985 (Selden & Song, 1994).

<sup>b</sup> Se estes coeficientes forem negativos, maiores os seus valores, menores serão as emissões. Se for positivo, maiores serão as emissões.

### 2.6.3 No Brasil

Poucos são os estudos da EKC aplicados a regiões e países específicos, inclusive para o Brasil. Entretanto, existem alguns trabalhos: Diniz (2000), Fachini (2001), Kamogawa (2001) e Kamogawa & Shiota (2003) que aplicam o modelo EKC para o Brasil. O primeiro para a emissão de carbono, o segundo em função do consumo energético e o terceiro e quarto para indicadores de qualidade de água.

Para o caso da qualidade do ar, segundo estimativas, existe uma relação positiva entre renda e emissão de carbono. Neste caso, o crescimento econômico é traduzido em maior emissão de carbono, ou seja, há piora na qualidade ambiental ao longo do processo de crescimento econômico (Diniz, 2000).

O consumo de energia elétrica total mostrou uma relação linear positivamente correlacionada com a renda (Figura 12). Para o caso da intensidade energética (a razão entre consumo de energia e a renda) o melhor ajuste foi o “N”. Assim, inicialmente, a tendência seria a EKC, mas a partir de um certo nível de renda (R\$ 2.900,00) a relação se inverte (Figura 13) (Fachini, 2001).

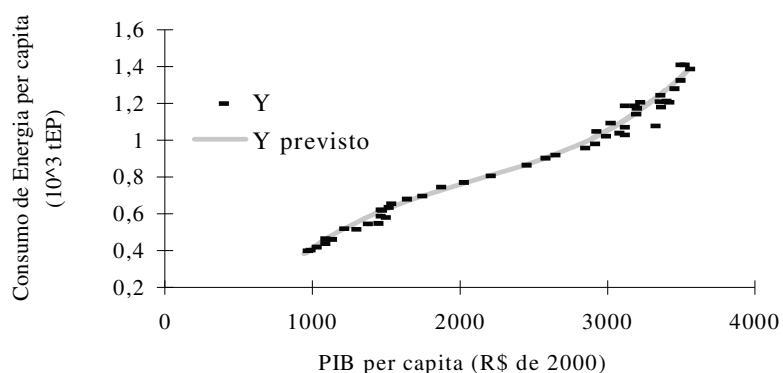


Figura 12 - Plotagem de ajuste de linha para o modelo de consumo de energia total per capita (em 10<sup>3</sup> tEP) no Brasil, 1970-2001.

Fonte: Fachini (2001)

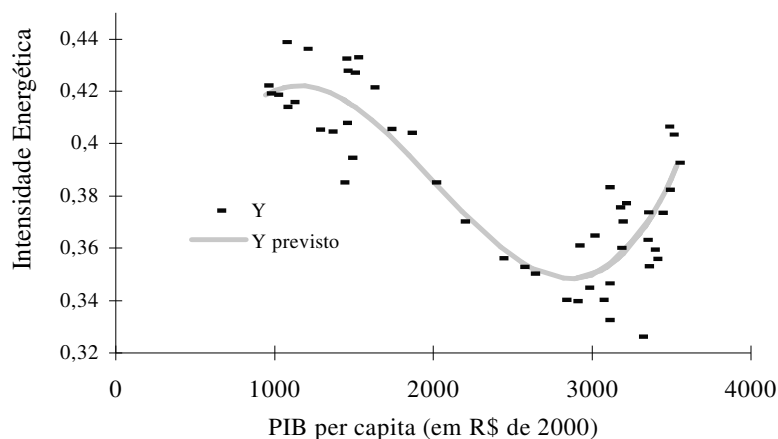


Figura 13 - Plotagem de ajuste de linha para intensidade energética ( $10^3$  tEP/PIB) em função do PIB per capita (em R\$ de 2000).

Fonte: Fachini (2001)

Assim, haveria piora da qualidade ambiental em níveis maiores de renda para o caso do consumo de energia. Todavia, é importante denotar que o país ainda está muito longe do consumo de energia dos outros países (essencialmente Estados Unidos), de modo que mesmo estando em relação positiva com a renda o consumo estará muito aquém dos outros países (Fachini, 2001).

Para o caso da água, segundo Kamogawa (2001) o melhor ajuste para o IQA (índice de qualidade de água) foi o polinomial cúbico. Assim, inicialmente com o crescimento da renda a qualidade de água sobe, mas passa a cair em determinado momento (R\$ 8.500,00) passando a subir em um terceiro momento (R\$ 9.400,00) (Figura 14).

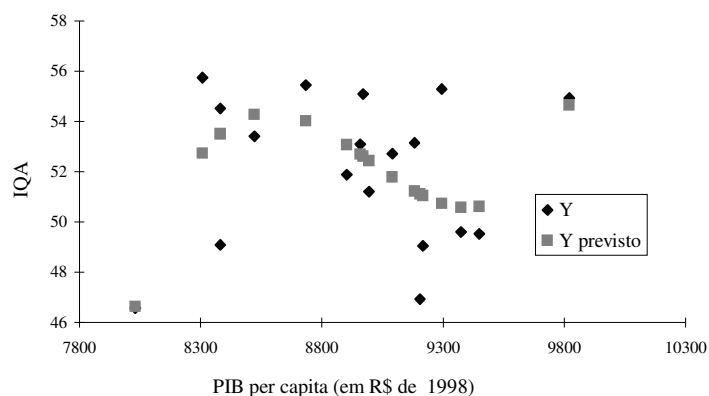


Figura 14 - Relação entre renda (em R\$ de 1998) e o índice de qualidade de água (IQA), na Bacia do Alto Tietê.

Fonte: Kamogawa (2001)

Entretanto, em um modelo mais elaborado utilizando uma variável *dummy* temporal Kamogawa & Shirota (2003) encontraram uma relação quadrática em “U” invertido para a relação entre renda e degradação ambiental. Dessa forma, a degradação ambiental inicialmente sobe com o aumento da renda. Todavia, após um *turning-point* estimado em R\$ 9.220,00 (em R\$ de 1998) quanto maior for o nível de renda, maior será a degradação ambiental e menor a qualidade da água (Figura 15).

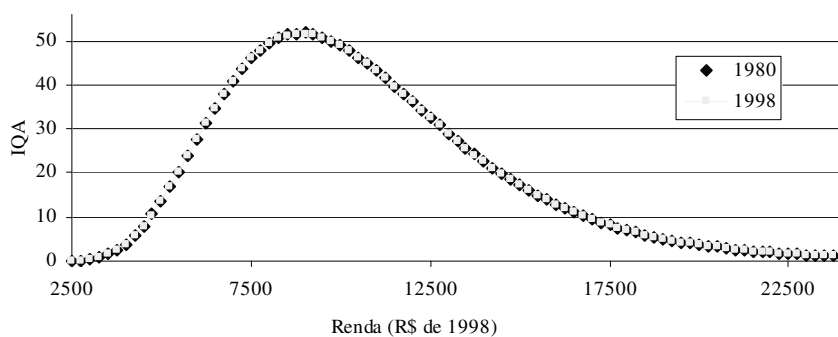


Figura 15 – Relação entre o índice de qualidade de água (IQA/CETESB) e PIB per capita (em R\$ de 1998), na bacia do Alto Tietê.

Fonte: Kamogawa & Shirota (2003)

### **3 MATERIAL E MÉTODOS (MODELO REDUZIDO)**

Para verificar se a relação entre renda e degradação ambiental segue uma trajetória EKC em “U” invertido, foi utilizada a técnica econométrica dos mínimos quadrados ordinários (MQO) (Greene, 2001; Johnston, 1963).

Com base na literatura, adotaram-se três tipos de formas funcionais: linear, quadrática e cúbica em uma análise temporal. O objetivo foi buscar o melhor ajuste, verificando se a forma é ou não uma EKC tradicional<sup>25</sup> (modelo quadrático e côncavo).

Devido à natureza dos indicadores selecionados para o estudo, serão adotados diferentes modelos e variáveis explanatórias.

A seguir, será demonstrada uma análise detalhada para cada indicador de qualidade ambiental do estudo em questão (qualidade das reservas de água doce e consumo de energia).

#### **3.1 Qualidade da água**

Para o caso da qualidade da água, serão utilizados quatro diferentes indicadores: a quantidade de oxigênio dissolvida (OD) (em mg/l), a demanda biológica

---

<sup>25</sup> Ver Figura 10 pg. 38.

de oxigênio (DBO – 5,20)<sup>26</sup> (em mg/l), a quantidade de coliformes fecais (em NMP/100 ml)<sup>27</sup> e o índice de qualidade de águas (IQA/CETESB) (Apêndice 2).

A análise foi limitada ao Estado de São Paulo devido à disponibilidade dos dados. Especificamente, os dados utilizados correspondem à região metropolitana da cidade de São Paulo. Pela classificação da CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) essa região corresponde a UGRHI-06 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06) (Apêndice 3) que por sua vez corresponde à bacia do Alto Tietê.

A escolha de tal bacia foi feita em função essencialmente de uma maior disponibilidade histórica de pontos de coleta de dados. Além disso, sua população (correspondente a 48% da população total do Estado de São Paulo em 2003) (CETESB, 2003) e sua produção econômica serem a mais representativa de todas as bacias no Estado.

Os indicadores absolutos de qualidade de água estão sujeitos à influência de variáveis externas como a capacidade de absorção do ambiente (alterada por fatores externos como a temperatura e o regime pluvial) e mesmo uma maior concentração populacional (uma vez que, quanto maior a quantidade de pessoas, maior tende a ser a concentração de poluentes).

Devido às restrições e características dos dados, de forma a contemplar todas as variáveis que afetam a relação renda e degradação ambiental sugeridos pela literatura, foram utilizados como variáveis explanatórias: o PIB per capita ( $Y$ ) para explicar a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental; a variável temporal ( $T$ ) para tentar extrair os efeitos da evolução tecnológica ao longo do tempo (“achatamento” da EKC); duas variáveis *dummy* ( $d_1$  e  $d_2$ ) para o período posterior ao

---

<sup>26</sup> Demanda biológica de oxigênio em 5 dias a 20° C.

<sup>27</sup> Número máximo provável em 100 ml de água.

ano de construção das estações de tratamento de esgoto (ETE) de Barueri (em 1988) e para as ETE's do Novo Mundo, de São Miguel e do ABC (em 1998) (Apêndice 4) para captar os efeitos externos de uma ação externa ao modelo (“*attractor*”); e finalmente a população residente (*Pop*) para subtrair os efeitos do crescimento populacional na qualidade da água.

Três diferentes ajustes para a EKC serão testados: o linear em (10), o quadrático em (11) e o cúbico em (12). Os modelos propostos são os seguintes:

$$IA_t = \alpha_1 + \alpha_2(Y_t) + \alpha_3T + d_1 + d_2 + \alpha_4Pop_t + e_t \quad (10)$$

$$IA_t = \beta_1 + \beta_2(Y_t) + \beta_3(Y_t)^2 + \beta_4T + d_1 + d_2 + \beta_5Pop_t + e_t \quad (11)$$

$$IA_t = \Phi_1 + \Phi_2(Y_t) + \Phi_3(Y_t)^2 + \Phi_4(Y_t)^3 + \Phi_5T + d_1 + d_2 + \Phi_6Pop_t + e_t \quad (12)$$

Onde:

$IA_t$  é o Valor do Indicador de Qualidade da Água no período de tempo  $t$ ;

$\alpha, \beta$  e  $\Phi$  são os parâmetros a serem estimados;

$Y_t$  é o PIB per capita no período de tempo  $t$ ;

$T$  é a variável temporal, uma *proxy* para tecnologia (para captar o “achatoamento” da EKC);

$d_1$  é a variável *dummy* para a ETE de Barueri;

$d_2$  é a variável *dummy* para as ETE's do Novo Mundo, São Miguel e ABC;

$Pop_t$  é a população residente no período de tempo  $t$ ; e,

$e_t$  é o erro aleatório.

### 3.1.1 Fonte dos dados do modelo para qualidade de água

#### – Qualidade da água

Os dados de qualidade da água foram coletados na CETESB em seu Relatório de Qualidade das Águas Interiores, no período de 1980 a 2000. Isto, dentro da chamada UGRHI-06 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 06), correspondente à Bacia do Alto Tietê (região metropolitana de São Paulo) (Apêndice 3).

Foram considerados sete pontos de coletas (Apêndice 5) localizadas nas regiões de maior concentração populacional e industrial. Os pontos não incluídos nesta amostra, ou não faziam parte da amostra em um período anterior, ou estão localizados em regiões de proteção de mananciais (onde a princípio não é uma região afetada por lançamento de efluentes).

E desse valor foi obtida uma média anual para cada ponto e finalmente uma média anual para a bacia, sendo este o valor final que foi considerado.

#### – PIB per capita

O valor do PIB per capita foi coletado junto a Fundação SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados) no Anuário Estatístico do Estado de São Paulo. A região correspondente é o Estado de São Paulo (pela ausência de uma base de dados para os 34 municípios pertencentes a UGRHI-06), no período de 1980 a 2000. O valor é o preço de mercado em valores em Reais de 2000. Sendo o IGP-DI/FGV o índice deflator considerado.



### – População Residente

A população utilizada é correspondente a residente nos 34 municípios pertencentes a UGRHI-06 (Apêndice 3). Estes valores vão do período de 1980 a 2000, e foram obtidos também na Fundação SEADE no Anuário Estatístico do Estado de São Paulo.

## 3.2 Consumo de energia

O consumo de energia foi medido em termos da quantidade anual per capita de tonelada equivalente de petróleo (tEP) para o Brasil de 1970 a 2001.

Inspirado na literatura foram adotadas algumas variáveis explanatórias que podem influenciar o consumo de energia no Brasil. A primeira variável a ser inserida foi à renda medida em termos per capita do PIB a custo de fatores ( $Y$ ), uma vez que o objetivo principal do presente trabalho é verificar os efeitos do crescimento econômico na qualidade ambiental.

Para medir os efeitos da tecnologia sobre o consumo de energia ao longo do tempo (“achatamento”) foi introduzida a intensidade energética ( $INT$ ) como variável explanatória. Medido como uma razão do consumo de energia ( $ENE$ ) sobre o valor do PIB, a intensidade energética, representada em (13), expressa qual a eficiência da economia na utilização da energia para gerar uma unidade de renda. Assim, a redução nesse valor representa ganhos de eficiência na utilização da energia, um aumento é traduzido como uma perda de eficiência no uso da energia.

$$INT = \frac{ENE}{PIB} \tag{13}$$

Como a energia não é um recurso abundante e o seu consumo é rival e excludente pode-se dizer que é possível utilizar o mecanismo de preços para regular a sua escassez. Estudos empíricos comprovam que o consumo de energia é elástico ao preço de suas fontes (Agras & Chapman, 1999). Foi introduzida a variável preço ( $P$ ) (medidos por um indicador) (Apêndice 6), para extrair os seus efeitos para o consumo de energia.

Foi introduzida a variável densidade populacional ( $d$ ) por considerar-se que o adensamento populacional produz efeitos tanto positivos quanto negativos no que se refere ao consumo de energia<sup>28</sup>.

O grau de abertura econômica foi também sugerido como uma variável explanatória. Entretanto, tal indicador é apenas aplicável a situações específicas, como no caso do México (Grossman & Krueger, 1993). No Brasil, tal indicador não é recomendável, uma vez que a nossa abertura econômica pouco variou ao longo do período do estudo (variância de 0,001 da abertura medida pela razão da soma das exportações e importações sobre o PIB), além de o país ser relativamente fechado ao comércio internacional<sup>29</sup>.

Definidas as variáveis explanatórias, três diferentes ajustes para a EKC foram sugeridos: o linear em (14), o quadrático em (15) e o cúbico em (16):

$$ENE_t = \alpha_1 + \alpha_2(Y_t) + \alpha_3INT_t + \alpha_4P_t + \alpha_5d_t + e_t \quad (14)$$

$$ENE_t = \beta_1 + \beta_2(Y_t) + \beta_3(Y_t)^2 + \beta_4INT_t + \beta_5P_t + \beta_6d_t + e_t \quad (15)$$

$$ENE_t = \Phi_1 + \Phi_2(Y_t) + \Phi_3(Y_t)^2 + \Phi_4(Y_t)^3 + \Phi_5INT_t + \Phi_6P_t + \Phi_7d_t + e_t \quad (16)$$

---

<sup>28</sup> Ver 2.5.4.

<sup>29</sup> 21% de abertura medidos pela razão da soma das exportações e importações sobre o PIB em 2001.

Onde:

$ENE_t$  é o consumo de energia no período de tempo  $t$ ;

$\alpha, \beta$  e  $\Phi$  são os parâmetros a serem estimados;

$Y_t$  é o PIB per capita no período de tempo  $t$ ;

$INT_t$  é a intensidade energética no período de tempo  $t$ , uma *proxy* para tecnologia (“achatamento” da EKC);

$P_t$  é o indicador de preço da energia no período de tempo  $t$ ;

$d_t$  é a densidade populacional no período de tempo  $t$ ; e,

$e_t$  é o erro aleatório.

### 3.2.1 Fonte dos dados para o modelo de consumo de energia

#### – Consumo de energia ( $ENE$ )

Os indicadores de qualidade ambiental serão utilizados em termos anuais per capita em tonelada equivalente de petróleo (tEP). Os dados de demanda energética e de intensidade energética foram coletados junto ao Ministério de Minas e Energia (MME).

#### – Renda ( $Y$ )

O valor utilizado será o PIB real a preço de mercado em termos per capita. Os dados foram coletados no Anuário Estatístico do Brasil (1947-2001) e no Instituto Nacional de Pesquisa e Economia Avançada (IPEA) (2003). O índice de deflacionamento utilizado foi o Índice Geral de Preços de Disponibilidade Interna (IGP-DI) estimado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) (IPEA, 2003).

– Intensidade energética (*INT*)

Como a intensidade energética é calculada a partir da razão entre o consumo de energia sobre o valor do PIB, a fonte de dados utilizada é a mesma das variáveis explanatórias consumo de energia e renda.

– Indicador de preço de energia (*P*)

Na ausência de um indicador de preço de energia, foi adotada uma média ponderada dos indicadores de preços para os três principais componentes da matriz energética brasileira no período (derivados de petróleo, energia elétrica e a lenha) (Apêndice 6).

Os indicadores IPA-OG-FGV (Indicador de Preços por Atacado – Oferta Global) para combustíveis e madeira e os preços de energia elétrica em R\$/Mwh foram coletados no IPEADATA e parte na ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica)<sup>30</sup>.

– Densidade demográfica (*d*)

A densidade demográfica foi obtida através da divisão da população brasileira sobre a área ocupada por seu território. Ambos os dados foram obtidos no Anuário Estatístico do Brasil (1947-2001).

---

<sup>30</sup> Para o caso do preço da energia elétrica para os anos de 2000 e 2001.

## 4 RESULTADOS ECONOMÉTRICOS

### 4.1 Qualidade da água

#### 4.1.1 Oxigênio dissolvido (OD)

Foi testada e detectada a presença de multicolinearidade<sup>31</sup> das variáveis explanatórias utilizando-se o teste do número condicional ( $\gamma$ ) (Belsley et al., 1980) representado em (17).

$$\gamma = \left( \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \right)^{1/2} \quad (17)$$

Onde:

$\gamma$  é o número condicional;

$\lambda_{\max}$  é a maior raiz característica; e,

$\lambda_{\min}$  é a menor raiz característica.

---

<sup>31</sup> Existência de correlação entre as variáveis exógenas e a quebra do pressuposto de *full-rank* da matriz  $X'X$  (Greene, 2001).

O teste indicou um valor de 60,82; valor considerado alto, dado que valores superiores a 30 indicam potenciais problemas de multicolinearidade (Belsley et al., 1980).

Como solução foram identificadas as variáveis que estavam dando origem ao problema de multicolinearidade pela demonstração da matriz de correlação das variáveis explanatórias em função da distribuição espectral da sua variância proporcional da maior para menor raiz característica (Belsley et al., 1980).

Como valores superiores a 0,5 em uma determinada linha da matriz de covariância indicam dependência linear de uma determinada variável explanatória com o número condicional (Belsley et al., 1980), três variáveis foram identificadas como potenciais geradoras de multicolinearidade: a população (*Pop*) (0,9989), a renda (*Y*) (0,9911) e a variável temporal (*T*) (0,6359).

A literatura sugere então duas alternativas para resolver este problema: a retirada de uma das variáveis ou a substituição destas (Greene, 2001; Belsley et al., 1980). A substituição é um processo um tanto complexo pela falta de alternativas que substituam estas variáveis e que, ao mesmo tempo, não gerem novamente problemas de multicolinearidade. Desta maneira, foi decidido pela retirada de uma variável.

Naturalmente, não se pode retirar a variável renda de nossa função, uma vez que ela é objeto essencial em nossa análise. Como os indicadores de qualidade de água utilizados no estudo podem estar sendo explicados por uma maior concentração populacional, uma vez que os indicadores utilizados são valores absolutos de qualidade de água, optou-se pela manutenção da variável populacional em detrimento da variável temporal (*T*).

Dessa forma, abriu-se mão da possibilidade do aferimento da presença do “achatamento” para o caso da qualidade da água em troca de um melhor ajuste da função.

Novamente testada a presença de multicolineariedade, no entanto, segundo o teste do número condicional, ainda havia a sua presença uma vez que o valor do teste foi de 32,99. Superior ao valor sugerido por Belsley et al. (1980), o valor, entretanto, é bem abaixo do valor estimado anteriormente. Para efeitos de simplificação de análise foi aceito então estes valores, uma vez que para este caso os sintomas de multicolineariedade<sup>32</sup> não foram encontrados para a análise feita por MQO (Mínimos Quadrados Ordinários).

Estimados estes parâmetros por MQO, optou-se como melhor ajuste econométrico o modelo linear crescente segundo os seguintes critérios: 1) significância do modelo (teste F), 2) significância dos parâmetros individualmente (teste t) e 3) o coeficiente de determinação do modelo ( $R^2$ ) (Tabela 4).

Tabela 4. Resultado econométrico da relação oxigênio dissolvido, PIB per capita (em R\$ de 2000) e demais variáveis explanatórias, de 1980-2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$d_1$	$d_2$	$Pop$	F	$R^2$
2,440 (1,61)	2,247E-5 (0,30)					-1,618E-7 (-2,07)	1,84	0,315
1,913 (0,12)	1,125E-4 (0,04)	-3,728E-9 (-0,03)		0,238 (1,08)	0,251 (1,21)	-1,629E-7 (-1,89)	1,38	0,315
-149,44 (-0,49)	0,037 (0,50)	3,050E-6 (-0,50)	8,301E-11 (0,50)	0,262 (1,13)	0,229 (1,05)	-1,674E-7 (-1,89)	1,13	0,327

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

<sup>32</sup> Valores dos teste t baixos e altos índices para o teste F e  $R^2$  (Greene, 2001).

Em função deste melhor ajuste foram testadas as presenças dos problemas de série de dados que podem fazer com que um estimador de parâmetros não seja o melhor estimador linear não viesado.

Para testar a presença de autocorrelação<sup>33</sup> foi aplicado o teste de Durbin-Watson (DW) (Greene, 2001). E como era de se esperar em uma série temporal (Morettin & Tolo, 1985), foi detectada autocorrelação dos erros e, para a correção do problema, foi utilizado o procedimento de Orchrane-Orcutt (Greene, 2001).

Entretanto, o problema só foi parcialmente contornado após sucessivas repetições do procedimento de Orchrane-Orcutt. Repetiu-se o procedimento por dez vezes até que o valor da correlação entre  $t$  e  $t-1$  fosse muito próximo de zero, retirando de forma parcial o problema da autocorrelação (Tabela 5).

---

<sup>33</sup> Autocorrelação – Violação do pressuposto que não existe covariância dos erros  $cov(e_t, e_s) \neq 0$  para  $t \neq s$  (Greene, 2001).



Tabela 5. Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU, após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, e o valor de correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e OD na UGRHI-06.

Procedimento	DW	dL*	dU*	$\rho$
1	2,490	0,927	1,812	-0,158
2	2,382	0,927	1,812	-0,193
3	2,264	0,927	1,812	-0,133
4	2,177	0,829	1,964	-0,090
5	2,118	0,829	1,964	-0,061
6	2,077	0,829	1,964	-0,041
7	2,050	0,829	1,964	-0,027
8	2,031	0,829	1,964	-0,018
9	2,019	0,829	1,964	-0,012
10	2,011	0,829	1,964	-0,008

\* a mudança de dL e dU ocorre por que houve uma mudança na tendência da série.

Foi também testada a presença de heterocedasticidade<sup>34</sup> utilizando o teste de Goldfeld-Quandt (GF) (Greene, 2001). Segundo a estimativa do teste de GF, não há presença de heterocedasticia para a renda e o tamanho da população (*Pop*) (Tabela 6).

<sup>34</sup> A quebra do pressuposto de que a variância dos dados é constante ao longo da distribuição da série de valores das variáveis explanatórias (Greene, 2001).

Tabela 6. Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.

Variável Explanatória	GF	F (95%)
Renda	0,43	239,00
<i>Pop</i>	0,71	5,63

Após a realização de todos os testes e feitos todos os ajustes necessários, chegou-se a um ajuste final. Segundo os critérios estatísticos considerados, o melhor ajuste da relação entre renda per capita e a quantidade de oxigênio dissolvido foi o “U” invertido (Tabela 7).

Tabela 7. Resultado econométrico final da relação oxigênio dissolvido, PIB per capita (em R\$ de 2000) e demais variáveis explanatórias, de 1980-2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	<i>Y</i>	( <i>Y</i> ) <sup>2</sup>	( <i>Y</i> ) <sup>3</sup>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>Pop</i>	F	R <sup>2</sup>
0,694 (1,21)	1,385E-4 (2,99)***			0,177 (1,42)	0,148 (1,12)	-1,308E-7 (-2,81)**	3,03 **	0,431
1,037 (2,20)**	0,001 (4,13)***	-1,972E-8 (-3,15)***		0,450 (3,39)***	0,413 (3,05)***	2,853E-7 (-4,63)***	5,77 ***	0,658
1,694 (2,00)*	-0,001 (-0,63)	2,463E-7 (0,87)	-1,115E-11 (-0,94)	0,527 (3,37)***	0,422 (3,10)***	-3,250E-7 (-4,34)***	4,91 ***	0,678

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

\* significativo a 10%

\*\* significativo a 5%

\*\*\* significativo a 1%

*Turning-point*: R\$ 12.928,19 – OD: 0,768 mg/l (1980) – 0,142 mg/l (2000)

Entretanto, para este caso, tal ajuste significa o oposto do caso da emissão de poluentes. Como a quantidade de oxigênio dissolvido na água é um atributo positivo para a qualidade da água, dizemos que quanto maior for a quantidade de oxigênio

melhor será a qualidade da água. Assim, uma tendência de “U” invertido para o caso da quantidade de oxigênio dissolvido significa que nos processos iniciais do crescimento econômico quanto maior for o nível de renda, maior será a qualidade ambiental; e a partir de um *turning-point* (de R\$ 12.928,19), quanto maior for o nível de renda, pior será a qualidade ambiental (Figura 16).

Um resultado semelhante ao encontrado por outros trabalhos na literatura<sup>35</sup>, aonde níveis mais altos de renda são traduzidos em uma redução da quantidade de oxigênio na água.

Os efeitos das variáveis *dummy* ( $d_1$  e  $d_2$ ), por sua vez, foram positivos para a qualidade ambiental (Tabela 7). Demonstrando que nos períodos posteriores à construção das ETE's houve uma melhora na qualidade ambiental ao haver um aumento da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Em termos quantitativos podemos dizer, que em média, períodos posteriores à construção da ETE de Barueri (1988), 0,450 mg/l de oxigênio dissolvido a mais poderiam ser encontrados na água e, em períodos posteriores à construção das ETE's do complexo ABC, Novo Mundo e São Miguel (1998), 0,413 mg/l de OD a mais dos períodos anteriores (acrescidos de  $d_1$ ) poderiam ser encontrados na bacia do Alto Tietê (Tabela 7).

O tamanho da população (*Pop*), como não poderia deixar de ser, indicou ter sido negativo para qualidade ambiental. Segundo o resultado da regressão, cada pessoa residente na UGRHI-06 contribui com uma redução de 2,85E-7 mg/l de OD (Tabela 7).

Graficamente, a relação entre as variáveis pode ser apresentada utilizando as dimensões renda e quantidade de oxigênio, agregando os efeitos das outras variáveis

---

<sup>35</sup> Shafik & Bandyopadhyay (1992); Shafik (1994); Grossman & Krueger (1995)

explanatórias em uma variável temporal. Assim, a Figura 16 apresenta o efeito da renda sobre a quantidade de oxigênio dissolvido para dois períodos, 1980 e 2000.

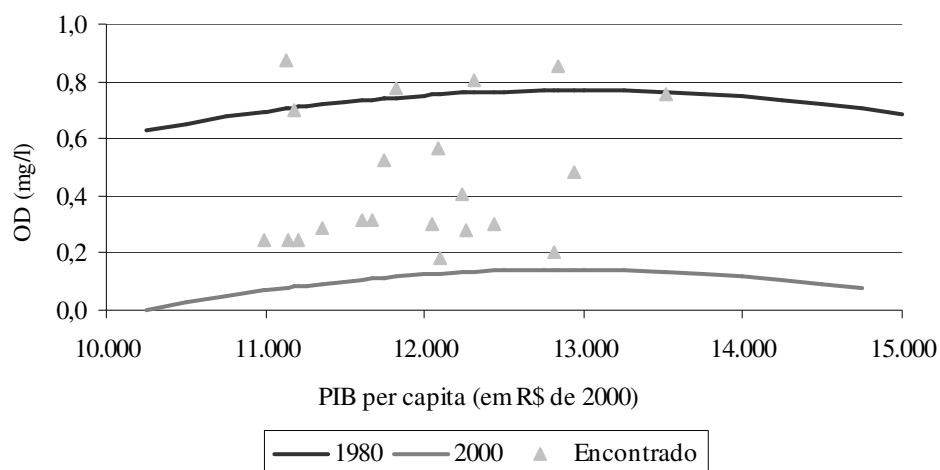


Figura 16 - Relação entre a quantidade de oxigênio dissolvido (mg/l) e a renda per capita (em R\$ de 2000), na UGRHI-06, 1980-2000.

#### 4.1.2 Demanda biológica de oxigênio (DBO)

Como as variáveis explanatórias são as mesmas do modelo utilizado para estimar a relação entre renda e quantidade de oxigênio dissolvido, a série de dados explanatórias possui multicolineariedade. Assim, a mesma variável explanatória foi retirada da função para solucionarmos este problema.

Estimados os parâmetros por MQO verificou-se como melhor ajuste o modelo quadrático em “U” invertido em função dos critérios estatísticos selecionados (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado econométrico da relação demanda biológica de oxigênio (DBO) (em mg/l), PIB per capita (em R\$ de 2000) e demais variáveis explanatórias, de 1980-2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$d_1$	$d_2$	$Pop$	F	$R^2$
29,273 (0,51)	0,004 (1,48)			7,437 (0,96)	-2,840 (-0,38)	-1,820E-6 (-0,62)	1,09	0,214
-590,697 (-1,06)	0,110 (1,16)	-4,380E-6 (-1,11)		9,669 (1,22)	-2,281 (-0,30)	-3,030E-6 (-0,98)	1,13	0,274
-4974,10 (-0,45)	1,189 (0,44)	-9,272E-5 (-0,42)	2,404E-9 (0,40)	10,354 (1,24)	-2,922 (-0,37)	-3,160E-6 (-0,98)	0,92	0,282

<sup>a</sup>O resultado do teste t está entre parênteses.

Em função deste ajuste, foi testada a presença dos outros tipos de problemas com série de dados que podem fazer com que os parâmetros estimados não sejam os melhores estimadores lineares não viesados.

Foi utilizado o teste de Durbin-Watson (DW) (Greene, 2001) para testar autocorrelação. Testada, foi detectada a presença, dessa forma, utilizou-se do procedimento de Orchrane-Orcutt por três vezes até corrigir satisfatoriamente o problema de auto-correlação da série de dados (Tabela 9).

Tabela 9. Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU, após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, e o valor da correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e DBO na UGRHI-06.

Procedimento	DW	dL	dU	$\rho$
1	2,193	0,927	1,812	-0,190
2	1,865	0,927	1,812	0,050
3	1,930	0,927	1,812	0,009

Também foi testada a presença de heterocedasticidade dos dados, utilizando o teste de Goldfeld-Quandt (GF). E como no caso anterior, a da quantidade de oxigênio dissolvido, não foi detectada a presença de heterocedasticidade para a variável explanatória renda e o tamanho da população (*Pop*) (Tabela 10). Rejeitou-se então a hipótese da presença de heterocedasticidade.

Tabela 10. Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.

Variável Explanatória	GF	F (95%)
Renda	1,10	4,21
<i>pop</i>	2,13	4,39

Depois de verificados e ajustados todos os problemas dos dados, finalmente chegamos a um ajuste final. Que segundo os critérios já apresentados, o melhor ajuste encontrado foi o linear positivamente inclinado (Tabela 11).

Todavia, para este caso, não foi encontrado um ajuste do ponto de vista da análise estatística satisfatório, mesmo no melhor ajuste. De forma que apenas não rejeitamos a hipótese nula para a variável explanatória renda (em um nível de significância de 5%), tanto quanto para as outras variáveis. E, em conjunto, estas mesmas variáveis não explicam também a variável dependente DBO, dado que não rejeitamos a hipótese nula da função (teste F) (Tabela 11).

Assim, não se pode considerar que o modelo possui um ajuste estatístico satisfatório. Desconsiderando-se o ajuste da função para o caso da demanda biológica de oxigênio. Resultado não muito diferente da literatura<sup>36</sup>, que para o caso da qualidade da

<sup>36</sup> Shafik (1994) e Grossman & Krueger (1995).

água medida pela DBO não houve um ajuste satisfatório pelos critérios da análise estatística (teste F, teste t e  $R^2$ ).

Tabela 11. Resultado econométrico final da relação demanda biológica de oxigênio (mg/l), PIB per capita (em R\$ de 2000), e demais variáveis explanatórias, de 1980-2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$d_1$	$d_2$	$Pop$	F	$R^2$
-13,432 (-0,27)	0,006 (2,10)*			4,334 (0,64)	-5,444 (-0,89)	-2,864E-7 (-0,14)	1,51	0,274
-59,236 (-0,87)	0,018 (1,43)	-5,062E-7 (-0,98)		7,687 (1,04)	-2,243 (-0,32)	-2,200E-6 (-0,77)	1,39	0,317
-13,457 (-0,11)	-0,024 (-0,24)	5,700E-6 (0,39)	-2,494E-10 (-0,43)	8,818 (1,10)	-2,398 (-0,33)	-2,670E-6 (-0,85)	1,13	0,326

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

\* significativo a 10%

\*\* significativo a 5%

\*\*\* significativo a 1%

*Turning-point*: inexistente

#### 4.1.3 Quantidade de coliformes fecais

Os mesmos procedimentos para a retirada do problema de multicolineariedade foram adotados para o caso da quantidade de coliformes fecais. Assim, estimada a regressão por MQO, optou-se pelo modelo linear negativamente inclinado como o melhor ajuste econométrico, segundo os critérios estatísticos já apresentados<sup>37</sup> (Tabela 12).

<sup>37</sup> 1) teste F, 2) teste t, 3)  $R^2$ .

Tabela 12. Resultado econométrico da relação quantidade de coliformes fecais (NMP/100 ml), PIB per capita (em R\$ de 2000), e demais variáveis explanatórias, de 1980-2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$d_1$	$d_2$	$Pop$	F	$R^2$
2,845E7 (0,69)	-3.213,16 (-1,58)			-4,783E5 (-0,08)	-8,555E6 (-1,56)	1,279 (0,55)	1,61	0,287
3,616E8 (0,87)	-60.078 (-0,85)	2,355 (0,81)		-1,678E6 (-0,28)	-8,855E6 (-1,59)	1,930 (0,84)	1,39	0,317
2,791E8 (0,03)	-39.757 (-0,02)	0,692 (0,00)	4,527E-5 (0,01)	-1,664E6 (-0,27)	-8,867E6 (-1,51)	1,928 (0,80)	1,08	0,317

<sup>a</sup>O resultado do teste t está entre parênteses.

Em função deste melhor ajuste foi testada a presença de autocorrelação e heterocedasticia dos dados. Passo iniciado pelo teste de Durbin-Watson (DW), para a presença de autocorrelação.

Segundo o seu resultado, o teste de DW identificou autocorrelação. E como nos caso anteriores, não só para uma aplicação do teste. Foram feitas várias aplicações do procedimento de Orchrane-Orcutt até que a correlação dos períodos tendesse a um valor extremamente baixo (Tabela 13).

E utilizando-se do teste de Goldfeld-Quandt não foi detectada a presença de heterocedasticia para as variáveis explanatórias da função (Tabela 14).



Tabela 13. Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU, após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt e o valor da correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e a quantidade de coliformes fecais, na UGRHI-06.

Procedimento	DW	dL	dU	$\rho$
1	2,830	0,927	1,812	-0,430
2	2,326	0,927	1,812	-0,172
3	2,095	0,927	1,812	-0,056
4	2,024	0,927	1,812	-0,021
5	1,998	0,927	1,812	-0,008

Tabela 14. Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.

Variável Explanatória	GF	F (95%)
Renda	4,46	4,74
<i>Pop</i>	2,15	4,82

Corrigidos os problemas das séries de dados, chegou-se a um novo ajuste ótimo da função. Que segundo os critérios estatísticos já apresentados, o modelo linear decrescente foi escolhido como o melhor ajuste para a relação quantidade de coliformes fecais e renda (Tabela 15).

Tabela 15. Resultado econométrico final da relação quantidade de coliformes fecais (NMP/100 ml), PIB per capita (em R\$ de 2000), e demais variáveis explanatórias, de 1980-2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$d_1$	$d_2$	$Pop$	F	$R^2$
1,588E7	-3.533,43			-3,955E6	-1,197E7	3,004	7,43	0,650
(1,43)	(-3,68)***			(-1,61)	(-4,59)***	(4,13)***	***	
1,484E7	-1.230,87	-0,119		-2,386E6	-1,055E7	2,266	5,83	0,661
(1,30)	(-0,34)	(-0,67)		(-0,70)	(-3,10)***	(1,71)	***	
1,085E6	41.982	-7,468	3,084E-4	-4,533E6	-1,082E7	3,206	5,13	0,687
(0,06)	(1,06)	(-1,12)	(1,10)	(-1,16)	(-3,19)***	(2,04)*		

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

\* significativo a 10%

\*\* significativo a 5%

\*\*\* significativo a 1%

*Turning-point*: inexistente

Dessa forma, quanto maior for o nível de renda, menor tende a ser a degradação ambiental. Podendo indicar que possivelmente o *turning-point* para a quantidade de coliformes fecais já foi alcançado, ou a tendência seja realmente negativamente inclinada.

O efeito da *dummy* ( $d_2$ ) foi positivo para a melhoria da qualidade ambiental, significando que em períodos posteriores à construção das ETE's (Novo Mundo, ABC e São Miguel) houve uma redução da quantidade de coliformes na água (Tabela 15). Em termos quantitativos, podemos dizer que haveria menos 11.971.193,00 (NMP/100ml) em períodos posteriores à construção destas ETE's.

O tamanho da população ( $Pop$ ) indicou ter efeitos negativos para a qualidade de água da UGRHI-06 (Tabela 15). Segundo os seus resultados, 3,004 (NMP/100ml) a mais de coliformes serão adicionados à água a cada nova pessoa residente na bacia do Alto Tietê.

Graficamente, a relação entre renda e quantidade de coliformes fecais possui uma tendência decrescente. O efeito agregado temporal para a qualidade ambiental é positivo, uma vez que a quantidade de coliformes fecais diminui de um período para outro (demonstrada em dois períodos: 1980 e 2000) (Figura 17).

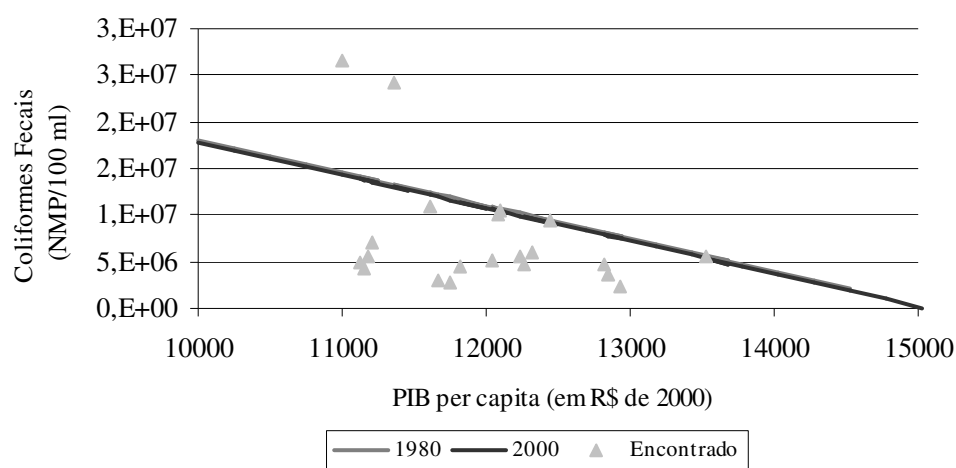


Figura 17 - Relação entre a quantidade de coliformes fecais (NMP/100 ml) e a renda per capita (R\$ de 2000), na UGRHI-06, 1980-2000.

Entretanto, apesar do resultado ser positivo para qualidade da água, futuramente pode estar indicando oposto<sup>38</sup>. Segundo estudos empíricos, a relação entre renda per capita e a quantidade de coliformes fecais segue uma trajetória em “N” (Shafik, 1994). Assim, o que pode estar ocorrendo é que o intervalo de dados utilizados no estudo apenas analisou a parte descendente da relação renda e coliformes fecais. Provavelmente em um período seguinte, depois de alcançado um *turning-point*, a relação renda e degradação podem voltar a crescer (Figura 18).

<sup>38</sup> Apesar de outros resultados empíricos comprovarem que a relação renda e quantidade de coliformes é um “U” invertido (Grossman & Krueger, 1995).

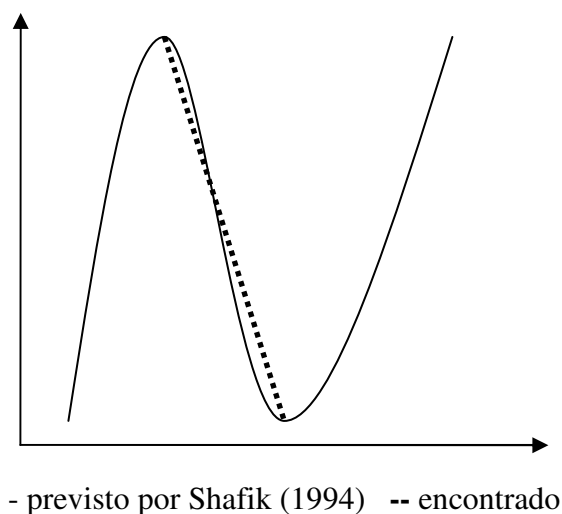


Figura 18 - Relação entre a quantidade de coliformes fecais e a renda per capita.

#### 4.1.4 Índice de qualidade de água (IQA/CETESB)

Como feito nos modelos anteriores, por problemas de multicolineariedade, foi retirada a variável temporal ( $T$ ) da função objetivo. Retirada a variável, foi estimada a regressão pelo procedimento dos MQO, permitindo a definição do melhor ajuste para a função. E segundo os critérios estatísticos considerados (teste F, teste t e  $R^2$ ), o melhor ajuste para a função seria o modelo linear positivamente inclinado (Tabela 16).

Para este caso, ao contrário dos demais indicadores apresentados, e apesar dos procedimentos adotados, é evidenciada a presença de multicolineariedade. Tal fato é comprovado pelos altos valores dos testes F e do  $R^2$  e um baixo valor dos testes t.

Todavia, foi optado pela manutenção do modelo e do ajuste (mesmo com a presença de multicolineariedade) para a manutenção dos objetivos do trabalho.

Tabela 16. Resultado econométrico da relação índice de qualidade de água (IQA), PIB per capita (em R\$ de 2000), e demais variáveis explanatórias, de 1980~2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$Pop$	$d_1$	$d_2$	F	$R^2$
23,289 (2,08)	0,001 (1,41)			-7,996E-7 (-1,39)	-1,694 (-1,11)	1,379 (0,93)	7,82	0,662
23,232 (1,94)	0,001 (0,79)	-5,297E-10 (-0,02)		-8,025E-7 (-1,30)	-1,709 (-0,97)	1,383 (0,90)	5,87	0,662
25,978 (1,76)	0,001 (0,73)	-6,616E-8 (-0,33)	3,366E-12 (0,34)	-7,646E-7 (-1,19)	-1,795 (-0,98)	1,321 (0,82)	4,62	0,664

<sup>a</sup>O resultado do teste t está entre parênteses.

Em função deste melhor ajuste, foi testada a presença dos problemas naturais das séries de dados que fazem com que os estimadores dos parâmetros não sejam o melhor estimador linear não viesado.

Segundo o teste de Durbin-Watson (DW) foi detectada a autocorrelação. E somente após exaustivas repetições do procedimento de orchrane-orcutt é que a autocorrelação pôde ser parcialmente retirada ao reduzir a correlação dos períodos t e t-1 a um valor próximo de zero (Tabela 17).

Foi também testada a presença de heterocedasticia utilizando o teste de Goldfeld-Quandt (GF). E segundo o teste realizado, não foi identificada heterocedasticia para as variáveis explanatórias da função (Tabela 18).

Tabela 17. Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW), o valor do intervalo dL e dU após sucessivas repetições do procedimento orchrane-orcutt, valor da correlação entre os períodos t e t-1 ( $\rho$ ), para a relação PIB per capita e o Índice de qualidade de águas (IQA), na UGRHI-06.

Procedimento	DW	dL	dU	$\rho$
1	2,036	0,927	1,812	-0,035
2	2,084	0,927	1,812	-0,052
3	2,113	0,927	1,812	-0,068
4	2,018	0,927	1,812	-0,036
5	1,931	0,927	1,812	0,002

Tabela 18. Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.

Variável Explanatória	GF	F (95%)
Renda	1,33	4,21
<i>PTF</i>	2,72	3,87

Após todos os procedimentos de ajuste da série de dados, foi estimado o ajuste final da função pelo procedimento dos MQO. Ajuste ao qual segundo os critérios selecionados da análise estatística, foi o linear positivamente inclinado (Tabela 19), significando que maior o nível de renda, maior tenderia a ser a qualidade ambiental.

Entretanto, para esta situação, o seu resultado não foi, sob o ponto de vista da análise estatística, satisfatoriamente capaz de explicar a relação IQA e renda na UGRHI-06. Apesar de todas as variáveis estarem simultaneamente explicando a IQA, individualmente estas variáveis não são significativas para explicar as variáveis dependentes (a 5% de nível de significância) (Tabela 19).

De forma que podemos rejeitar que a população explica IQA, mesmo em um nível de significância de 10%. Sendo que as únicas variáveis em que não podemos rejeitar a hipótese nula, isso em um nível de significância de 10%, são a renda e a *dummy* para a construção da ETE de Barueri ( $d_1$ ) (Tabela 19).

Tabela 19. Resultado econométrico final da relação índice de qualidade de água (IQA) e PIB per capita (em R\$ de 2000), de 1980~2000, na UGRHI-06<sup>a</sup>.

Interc.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$Pop$	$d_1$	$d_2$	F	$R^2$
18,291 (2,00)*	0,001 (1,56)			-2,992E-7 (-0,80)	-2,517 (-2,08)*	0,619 (0,51)	7,15 ***	0,641
18,231 (1,94)*	0,001 (1,28)	-1,182E-8 (-0,42)		-4,128E-7 (-0,88)	-2,747 (-2,02)*	0,798 (0,61)	5,46 ***	0,645
19,724 (2,08)*	0,001 (0,75)	1,524E-7 (0,95)	-8,69E-12 (-1,04)	-7,639E-7 (-1,33)	-1,699 (-1,01)	1,434 (1,00)	4,76 ***	0,671

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

\* significativo a 10%

\*\* significativo a 5%

\*\*\* significativo a 1%

*Turning-point*: inexistente

Esse resultado não satisfatório pode parcialmente ser explicado pela natureza de estimação do IQA (Apêndice 2). Por ser um indicador que contabiliza os efeitos de uma série de indicadores de qualidade de água, pelo simples fato de que os diferentes indicadores podem estar sofrendo diferentes respostas à variação da renda (uns piorando, outros melhorando, ou não sofrendo nenhuma reação à renda), o resultado têm um efeito final agregado não satisfatório para explicar a relação qualidade ambiental e renda.

O que pode estar ocorrendo também é a presença de multicolineariedade das variáveis explanatórias, dado um alto nível de significância do modelo (teste F), com

um alto valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), associados a um baixo nível de significância dos parâmetros estimados (medidos pelos testes t). Fato discutido anteriormente (Tabela 19).

#### **4.1.5 Projeções para a qualidade das reservas de água doce na UGRHI-06**

Dado o ajuste final estimado, foi feita uma projeção de curto-prazo (15 anos) para a qualidade da água na UGRHI-06. Para tal projeção, algumas pressuposições foram introduzidas para facilitar as análises.

A primeira delas foi à escolha de dois cenários econômicos: um conservador (com previsão de crescimento da renda per capita em 1% a.a. em termos reais), e outro mais otimista (crescimento de 2% a.a.).

Outra pressuposição assumida foi relativa à evolução da população que se altera ao longo do período. Para tal, utilizou-se a estimativa do crescimento da população brasileira feita pelo IBGE (IBGE, 2003).

Devido às características do modelo, as demais variáveis permaneceram constantes. Ou seja, as variáveis *dummies*  $d_1$  e  $d_2$  foram assumidas como significativas, e assim, mantidas.

As projeções foram feitas apenas considerando dois indicadores de qualidade (OD e coliformes fecais), uma vez que o ajuste para os outros dois indicadores considerados no estudo não se mostraram satisfatórios<sup>39</sup>.

---

<sup>39</sup> Ver 4.1.1.; 4.1.2.; 4.1.3 e 4.1.4.



– Resultados

Dadas estas restrições, as projeções feitas para a qualidade da água na UGRHI-06 foram de piora segundo os indicadores considerados. Para o caso da quantidade de oxigênio dissolvido (OD), tanto para uma projeção de crescimento da renda per capita conservadora, quanto para uma mais otimista, não houve sinais de melhora da qualidade ambiental (Tabelas 20 e 21).

No caso da quantidade de coliformes fecais, para um cenário mais conservador de crescimento econômico a tendência da qualidade ambiental é de piora, e para um cenário mais otimista há uma perspectiva de melhora na qualidade ambiental (Tabelas 20 e 21).

Tabela 20. Projeção da variação dos indicadores de qualidade de água (OD e coliformes fecais) na UGRHI-06, dada uma variação anual de 1% do PIB per capita.

Indicador	Atual	5 anos	10 anos	15 anos
OD (mg/l)	0,1103	0	0	0
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	11.940.904	13.330.036	14.465.405	15.105.572

Tabela 21. Projeção da variação dos indicadores de qualidade de água (OD e coliformes fecais) na UGRHI-06, dada uma variação anual de 2% do PIB per capita.

Indicador	Atual	5 anos	10 anos	15 anos
OD (mg/l)	0,1103	0	0	0
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	11.940.904	11.141.923	9.749.821	7.482.148

## 4.2 Consumo de energia

Foi testada a presença de multicolineariedade das variáveis explanatórias para o caso do consumo de energia utilizando o teste do número condicional. Segundo o seu resultado, não foi identificada multicolineariedade para as variáveis explanatórias, uma vez que o teste resultou em um valor de 20,46, que é um valor abaixo do número de Belsley et al. (1980), desconsiderando-se, assim, potenciais problemas de multicolineariedade.

Estimados os parâmetros por MQO, optou-se como melhor ajuste, segundo os critérios estatísticos selecionados<sup>40</sup>, o modelo linear crescente (Tabela 22).

Em função deste melhor ajuste, foram testadas a presença de outros problemas com séries de dados que fazem com que o estimador de parâmetros da função objetivo não seja o melhor estimador de parâmetros não viesado.

Tabela 22. Resultado econométrico da relação consumo per capita de energia ( $10^3$  tEP/pessoa), PIB per capita (em R\$ de 2001), e demais variáveis explanatórias, de 1970-2001<sup>a</sup>.

Int.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$D$	$INT$	$P$	F	$R^2$
3,49E-4 (5,33)	9,09E-8 (5,76)			4,37E-6 (0,94)	-32,32 (-0,10)	-6,19E-7	118,74	0,948
7,63E-4 (3,28)	-5,97E-8 (-0,72)	1,40E-11 (1,85)		5,36E-6 (1,20)	-412,12 (-1,08)	-5,45E-7 (-3,35)	104,51	0,954
-0,001 (-1,75)	1,26E-6 (2,59)	-2,46E-10 (-2,59)	1,68E-14 (2,74)	4,67E-6 (1,18)	-155,62 (-0,44)	-3,82E-7 (2,44)	111,10	0,965

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

<sup>40</sup> 1) teste F; 2) teste t e 3)  $R^2$ .

Para testar a presença de autocorrelação, foi utilizado o teste de Durbin-Watson (DW). Segundo suas estimativas, não foi detectada a presença de autocorrelação. O resultado do teste foi inferior a dL tabelado possibilitando assim rejeitar a hipótese da presença de autocorrelação (Tabela 23).

Tabela 23. Resultados do teste estatístico de Durbin-Watson (DW) e o valor do intervalo dL e dU, para a relação PIB per capita e o consumo per capita de energia.

DW	dL	dU
0,519	0,979	1,510

Foi também testada a presença de heterocedasticia como o teste de Goldfeld-Quandt. Segundo sua estimativa, foi detectada a presença de heterocedasticia para a variável explanatória renda (Tabela 24).

Tabela 24. Resultados do teste estatístico de Goldfeld-Quandt (GF) e o valor do teste F tabelado.

Variável Explanatória	GF	F (95%)
Renda	7,91	3,18
<i>D</i>	0,90	5,89
<i>INT</i>	0,90	5,89
<i>P</i>	0,90	5,89

Para a heterocedasticia ser retirada, re-estimaram-se os parâmetros pelo procedimento dos mínimos quadrados generalizados, chegando a uma estimativa final para a relação renda e consumo per capita de energia (Tabela 25).

Poderia também ser argumentado possíveis problemas de endogenia na função. Entretanto, testes de causalidade realizados demonstraram que as variáveis explanatórias utilizadas são apenas levemente endógenas, ou fortemente exógenas.

Após, testadas e corrigidas todas as hipóteses de erros e problemas na série de dados. Foi selecionado, segundo os critérios estatísticos anteriormente descritos, como o melhor ajuste para a relação consumo per capita de energia e renda per capita, o modelo cúbico crescente (entretanto, sem um *turning-point*, mas com dois pontos de inflexão). Assim, quanto maior for o nível de renda, maior será o consumo de energia per capita (Tabela 25).

Tabela 25. Resultado econométrico da relação consumo per capita de energia ( $10^3$  tEP/pessoa), PIB per capita (em R\$ de 2001), e demais variáveis explanatórias, de 1970-2001<sup>a</sup>.

Int.	$Y$	$(Y)^2$	$(Y)^3$	$d$	$INT$	$P$	F	$R^2$
-4,93E-5 (-2,26)**	1,57E-7 (12,26)***			-7,46E-6 (-1,35)	1470,33 (10,13)***	-4,31E-7 (-2,44)**	1591,57 ***	0,996
-5,85E-6 (-0,40)	2,06E-7 (19,85)***	-1,12E-11 (-6,92)***		4,84E-6 (1,29)	394,78 (2,22)**	-5,58E-7 (-5,22)***	3581,28 ****	0,999
-2,47E-5 (-2,00)*	3,43E-7 (9,82)***	-5,82E-11 (-4,96)***	4,42E-15 (4,03)***	2,78E-6 (0,93)	30,86 (0,19)	-5,10E-7 (-5,98)***	4806,44 ***	0,999

<sup>a</sup> O resultado do teste t está entre parênteses.

\* significativo a 10%

\*\* significativo a 5%

\*\*\* significativo a 1%

*turning-point*: inexistente

Este resultado é condizente com a literatura, uma vez que resultados empíricos da EKC para o caso do consumo de energia feitas para os Estados Unidos

estimam um *turning-point* a um nível muito alto de renda per capita (43.767,00 em US\$ de 1997) (Richmond & Kaufmann, 2003).

Tanto a densidade populacional ( $d$ ) quanto a intensidade energética ( $INT$ ) parecem não explicar o consumo de energia. Assim, não há nem perda nem ganhos de escala em função do adensamento populacional. Também, não há alteração no consumo de energia em função de uma mudança na eficiência da utilização da energia no Brasil (Tabela 25).

Outro resultado interessante obtido foi a comprovação de que a demanda por energia no Brasil varia função do seu preço. Segundo o resultado da regressão, a demanda de energia per capita cai aproximadamente  $5 \times 10^{-4}$  tEP a cada aumento em uma unidade do indicador de preço de energia.

Graficamente, a relação renda e consumo de energia é uma relação crescente. Agregando os efeitos das outras variáveis explanatórias em um único efeito temporal, verifica-se que ao longo do tempo há uma discreta redução da demanda per capita de energia entre os anos de 1970 e 2001 (Figura 19).

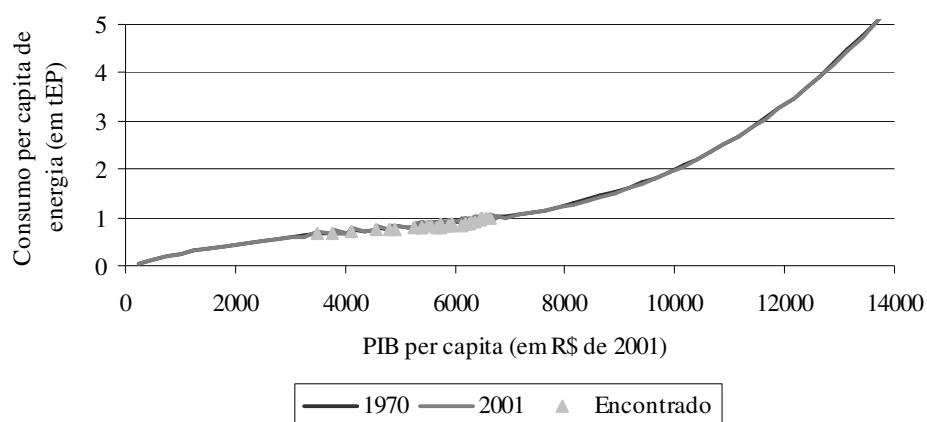


Figura 19 - Relação entre a renda per capita (em R\$ de 2001) e o consumo per capita de energia (tEP/pessoa) no Brasil, 1970-2001.

#### 4.2.1 Projeções para o consumo de energia

Foi feita uma projeção para o consumo de energia per capita e total da economia brasileira para o curto-prazo (15 anos). Para tal, foram assumidos alguns pressupostos.

O primeiro deles foi projetar dois diferentes cenários econômicos, um conservador tomando por base um crescimento da renda per capita em valores reais estimado em 1% ao ano, e outro mais otimista com uma estimativa de crescimento de 2% ao ano.

Outro pressuposto assumido foi que a variação da população ocorre em um ritmo tomando por base as projeções feitas pelo IBGE. E o último pressuposto assumido foi de que as demais variáveis explanatórias (preço, intensidade energética) foram mantidas constantes.

##### – Resultados

Dada estas restrições, como era de se esperar em função do ajuste final da função obtido, a projeção de consumo da energia no Brasil foi de crescimento no consumo, tanto absoluto quanto per capita, para ambos os cenários de crescimento da renda per capita propostos.

Segundo estimativas, mantidas todas as pressuposições impostas, em um cenário conservador de crescimento da renda per capita (1%), haverá um aumento médio de 1,46% anual no consumo per capita de energia, enquanto o total é de 2,58%. Isto equivale, em termos totais, a um crescimento de 47% no período de 15 anos (Figura 20).

Em termos quantitativos, este aumento corresponde a 81.319.625 tEP anuais ou 2.385.104,59 Gwh (Giga Watt horas) anuais, equivalentes a produção anual de energia de 26,5 usinas de Itaipu<sup>41</sup> ou de 93% da oferta total de energia provida pelo petróleo no Brasil em 2001<sup>42</sup>.

Para o cenário mais otimista de crescimento da renda per capita (2% ao ano), a projeção de crescimento do consumo de energia é ainda maior. Segundo as estimativas, mantidas todas as pressuposições impostas, a expectativa é de um crescimento médio no consumo per capita de 3,50% ao ano, enquanto que em termos absolutos, a projeção é de um crescimento de 4,52% anuais. Em quinze anos isto corresponderá a um crescimento de 94% em termos totais (Figura 19).

Quantitativamente, isto corresponderá a 170.165.050 tEP anuais ou 4.990940,92 Gwh anuais. Equivalente a produção de energia de 55,45 usinas de Itaipu<sup>39</sup> ou de 1,94 vezes da energia provinda do petróleo no Brasil em 2001<sup>40</sup>.

---

<sup>41</sup> A produção estimada é de 90.000,00 Gwh anuais (Itaipu, 2003).

<sup>42</sup> Em 2001 a oferta total de energia provida pelo petróleo foi de 87.833.376 tEP (Brasil, 2003).

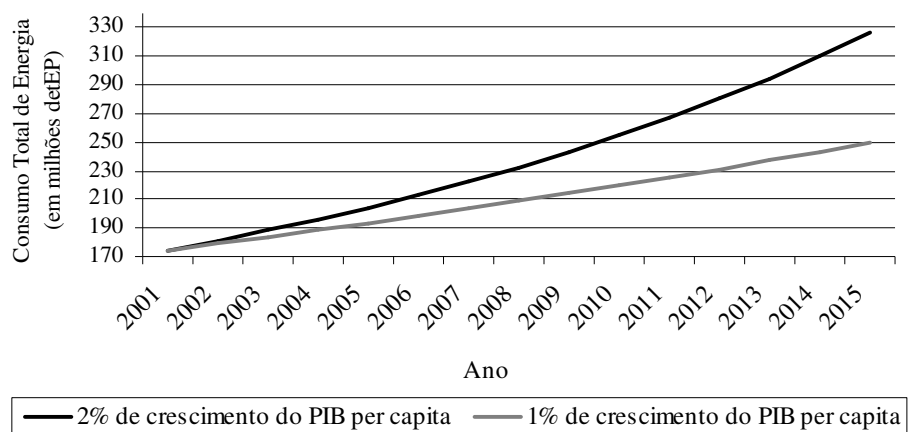


Figura 20 – Estimativa da evolução do consumo total de energia no Brasil (em milhões de tEP) dado dois cenários de crescimento do PIB per capita (1% e 2% anuais): 2001-2015.



## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Qualidade da água

Os resultados, econometricamente, mostraram que o principal fator abatedor da degradação ambiental nas águas da bacia do Alto Tietê foi uma ação externa representada pelas variáveis *dummies*  $d_1$  e  $d_2$  correspondentes aos períodos posteriores à construção das estações de tratamento de esgotos (ETE's).

À exceção do caso da quantidade de coliformes fecais na água, onde a relação entre renda e degradação ambiental já está na fase descendente, a renda não parece (pelo menos no intervalo dos dados utilizado no estudo) abater a degradação ambiental.

Este resultado pode, em parte, ser explicado pela simples razão de que os indicadores utilizados no estudo não possuem relação direta com o nível de atividade industrial. Estes indicadores possuem uma maior relação com a quantidade de carga orgânica lançada nos rios (esgotos), ou seja, ela é função da concentração populacional.

Dessa forma, a resposta da renda ao nível de degradação ambiental é função da sensibilidade do consumidor em considerar que determinado indicador de qualidade de água é ou não positivo para ele, e não em resposta ao nível de produção.

O formato da relação entre a quantidade de OD e renda per capita (em “U” invertido), pode ser interpretada como uma predisposição inicial das pessoas em exigir uma maior cobrança por um sistema de tratamento de esgotos mais eficiente.

Entretanto, após um *turning-point*, os benefícios de uma instalação de um sistema mais eficiente é considerado por demais oneroso pelos agentes econômicos, ou seja, os benefícios da instalação de um sistema de esgotos não mais compensam os gastos com a sua instalação. Desta forma, maior o nível de renda a partir deste ponto, pior tende a ser a qualidade da água medida por este indicador.

Um resultado óbvio obtido, em função dos argumentos estabelecidos, foi de que o aumento populacional indicou ser negativo para a qualidade ambiental. Assim, maior a população, a tendência é haver uma piora na qualidade da água.

Ao fazer a projeção da qualidade da água em um horizonte de 15 anos, a perspectiva quanto à sua qualidade na região metropolitana da cidade de São Paulo (medidos pelos indicadores analisados no estudo) não é das mais positivas. Ficou claro que tanto para uma previsão pessimista quanto otimista do crescimento da renda<sup>43</sup>, a esperança para uma hipotética melhora da qualidade da água só pode vir a ocorrer em dois casos.

Um deles é quando houver uma mudança na legislação e regulamentação e a instalação de leis melhor definidas quanto à propriedade dos corpos de água. Isto permitiria que os agentes econômicos passassem a exigir uma maior fiscalização e controle da qualidade da água por parte da instância responsável por este corpo de água (a da União ou dos Estados) ou das empresas responsáveis pelo tratamento do esgoto lançado na bacia do Alto Tietê (neste caso a SABESP).

---

<sup>43</sup> À exceção da quantidade de coliformes fecais para uma projeção otimista de crescimento da renda per capita.

E o outro caso ocorre quando houver um fator externo, como a ampliação da capacidade das ETE's<sup>44</sup>, que como comprovado nos resultados é significativo para a melhoria da qualidade da água na UGRHI-06.

Assim, dadas as restrições impostas, tanto nos resultados dos ajustes encontrados, quanto para as projeções de qualidade da água, o principal abatedor da degradação ambiental são os fatores externos, que neste caso foi a construção das ETE's.

Quanto à potencialidade da renda como abatedor de degradação ambiental, podemos dizer que ela fica restrita à capacidade dos agentes econômicos em identificar as dimensões qualitativas medidas por estes indicadores como positivas para o seu bem estar.

Uma vez que, como já explanado, as emissões de poluentes associados aos indicadores de qualidade de água utilizados no estudo não possuem relação direta com o nível de produção industrial e sim com o tamanho da população, é natural que estes indicadores não tenham um ajuste satisfatório em função da renda, pois elas são mais relacionadas com o tamanho da população.

Fica como sugestão para trabalhos futuros a utilização de outros indicadores de qualidade de água mais relacionados com a atividade industrial ou produtiva para medir a relação entre renda e degradação ambiental.

## **5.2 Consumo per capita de energia**

No intervalo de dados analisado, a renda per capita não é um fator abatedor do consumo de energia per capita no Brasil. Ou seja, não há perspectivas de

---

<sup>44</sup> Atualmente atendendo 36% da população total (Apêndice 4).

que a relação entre renda e consumo de energia possua um formato geométrico do “U” invertido. Como foi indicado nos resultados, quanto maior o nível de renda per capita, maior tende a ser o consumo de energia per capita no Brasil. E, tanto a densidade populacional quanto a intensidade energética, demonstraram não serem significativos para explicar o consumo de energia.

O único fator que, além de significativo, indicou abater o consumo de energia é o seu preço. Como demonstrado nos resultados, é detectada uma mudança na demanda por energia em função de uma alteração em seus preços. Resultado também já encontrado na literatura (Agras & Chapman, 1999).

As projeções realizadas, tanto em termos per capita quanto em termos reais, a perspectiva quanto ao consumo de energia é de crescimento, independente dos cenários propostos (1% ou 2%) de crescimento da renda per capita.

Dessa forma, ou os agentes econômicos do país aprendem a utilizar tecnologias de produção menos intensivas em energia, ou a produção energética do país terá que ser capaz de suportar este aumento no consumo de energia para manter o crescimento do PIB, dado que não há evidências de que a renda abata o consumo de energia em um horizonte de curto-prazo.

Reforçam-se a estas evidências, os fatos que países como o Japão e o Estados Unidos consomem respectivamente 3,4 e 6,7 vezes mais energia em termos per capita do que o Brasil, com um nível de renda de sete (caso do americano) a dez vezes (caso do japonês) maiores do que o brasileiro (Energy Information Association, 2003); e um hipotético *turning-point* estimado na literatura só ocorre a níveis muito altos de renda per capita (Richmond & Kaufmann, 2003).

A mudança de comportamento dos agentes produtivos em função de utilizar tecnologias menos intensivas em energia não parece ser uma solução factível

uma vez que um maior nível de produção do nosso país ainda é dependente de um maior consumo de energia dada a nossa estrutura de produção (indústria, e a agricultura que depende de uma maior quantidade de insumos industrializados, mecanização e transporte).

Vendo o problema pelo lado do consumidor, um menor consumo de energia também não parece ser uma solução possível, uma vez que o consumidor visa sempre a maximização de sua utilidade assim, ele visa sempre um maior conforto. E tal conforto é relacionado com um maior nível de consumo de energia (em função de um maior nível de consumo de produtos industrializados, alimentos, eletrodomésticos, automóveis, condicionadores de ar).

Uma solução plausível que obviamente poderia ser tomada é o aumento dos preços da energia. Entretanto esta solução não parece ser ótima uma vez que, ao haver um aumento no preço da energia podem ocorrer dois efeitos: 1) pode haver um aumento nos custos de produção, que pode ser traduzido em um menor nível de produção e conseqüentemente em um menor nível de renda; e 2) pode haver um aumento no custo de vida e, conseqüentemente, uma redução na renda real.

Como dito então, a solução ótima a ser seguida, segundo os argumentos apresentados, é realmente suprir esta demanda de energia de alguma forma. Assim, ações governamentais (políticas públicas) para a manutenção da oferta de energia (tais como busca de novas bacias petrolíferas, construção de novas usinas hidro e termo elétricas, e busca por fontes alternativas) são necessárias.

Todavia, é preciso saber que os custos de instalação de um sistema energético são marginalmente crescentes devido aos maiores custos de extração, e mesmo perda de eficiência uma vez que as fontes tendem a ficar cada vez mais distante dos centros consumidores de energia.

Mesmo outros custos indiretos, essencialmente a degradação, são cada vez maiores em função da ampliação deste sistema energético. Pois, uma quantidade maior de áreas será represada para a construção de usinas hidroelétricas. E uma maior quantidade de combustíveis fósseis e de biomassa (álcool, lenha) serão queimados, resultando em uma maior emissão de poluentes.

É necessário então, saber até que ponto a economia brasileira irá suportar estes custos tanto diretos quanto indiretos de forma a manter este crescimento. Provavelmente, chegará um determinado momento que, tanto os agentes produtivos quanto os consumidores, terão de utilizar esta energia de forma mais eficiente para manter o crescimento da renda. Obviamente não é necessário falar que tal ponto ocorre no *turning-point* ou, quando a relação entre renda per capita passar a ter um formato de “U” invertido. Entretanto, tal fato só ocorrerá em um horizonte muito longo de tempo.

Dentro deste cenário, uma possível saída seria uma mudança na matriz energética do País com a adoção de tecnologias mais limpas e que utilizem uma menor quantidade de recursos naturais e ambientais (como a utilização de bio-combustíveis de origem vegetal, a energia solar e a eólica).

Entretanto, tais fontes de energia são mais onerosas do que o atual sistema utilizado (baseado na utilização de combustíveis fósseis). Além, da sua oferta ser extremamente restrita em função da sua capacidade total possível em relação ao consumo total de energia no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAS, J.; CHAPMAN, D. A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis. **Ecological Economics**, v.28, n.2, p.267-277, 1999.

AMARAL, A.M.P. Consumo total e residencial de água tratada: aplicação de um modelo de séries temporais em Piracicaba, SP. Piracicaba, 2000. 92p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1947-2002, v.8-v.62.

BANCO MUNDIAL. **World development report**: relatório sobre o desenvolvimento mundial 1992: desenvolvimento e meio ambiente. Washington: Oxford University Press; Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1992. 322p.

BELSLEY, D.A.; KUH, E.; WELSCH, R.E. **Regression diagnostics**: identifying influential data and sources of collinearity. New York: John Wiley & Sons, 1980. 292p.

BORGUESI, S. **The environmental Kuznets curve**: a survey of literature. Toscana: European University Institute, 1999. 28p. (Working Paper)

BRANSON, W.H. **Macroeconomy**: theory and policy. New York: Harper & Row Publishers, 1972. 461p.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Tarifas**. <http://www.aneel.gov.br/> (25 ago. 2003)

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético consolidado**. <http://www.mme.gov.br/ben/> (18 jun. 2003)

BRUYN, S.M.; VAN DER BERGH, J.C.J.M.; OPSCHOOR, J.B. Economic growth: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v.25, n.1, p.61-175, 1998.

COMPANHIA DE SANEAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SÃO PAULO (SABESP). **Tratamento de esgotos**. <http://www.sabesp.com.br/> (18 set. 2003)

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Qualidade da água**. <http://www.cetesb.sp.gov.br/> (16 de novembro de 2003)

CONJUNTURA ECONÔMICA. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 1970-2002.

DINIZ, E.M. **Growth, pollution and the Kyoto protocol**: an assessment of the brazilian case. Oxford: Oxford University, 2000. 137p.

DORNBUSH, R.; FISHER, S. **Macroeconomia**. 5.ed. São Paulo: Makron Books, 1991. 930p.

ENERGY INFORMATION ASSOCIATION (EIA). **Historical data**. <http://www.eia.doe.gov/> (23 set. 2003)



- FACHINI, C. A questão energética e o crescimento econômico: uma análise da EKC no Brasil. Piracicaba, 2001. 40p. Monografia (Graduação) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FIELD, B.C. **Environmental economics: an introduction**. New York: McGraw-Hill, 1994. 482p.
- FINDLAY, R. **Factor proportions, trade, and growth**. Cambridge: The MIT Press, 1995. 182p.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Anuário estatístico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1980-2001.
- GAWANDE, K. Internal migration and the environmental Kuznets curve for US hazardous waste sites. **Ecological Economics**, v.33, n.1, p.151-166, 2000.
- GAWANDE, K.; BERRENS, R.P.; BOHARA, A.K. A consumption-based theory of the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v.37, n.1, p.101-112, 2001.
- GREENE, W.H. **Econometric analysis**. New Jersey: Prentice Hall Publishers, 2001. 1075p.
- GROSSMAN, G.M.; KRUEGER, A.B. Environmental impacts of a north american free trade agreement. In: GARBER, P. **The US-Mexico Free Trade Agreement**. Cambridge: MIT Press, 1993. p.13-55.
- GROSSMAN, G.M.; KRUEGER, A.B. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v.110, n.2, p.353-379, 1995.

HAMILTON, J.D. **Time series analysis**. New Jersey: Princeton University Press, 1994. 799p.

HUBERMAN, L. **História da riqueza do homem**. Rio de Janeiro: Zahar, 1971. 339p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Metodologia das contas nacionais**. <http://www.ibge.gov.br/> (04 nov. 2003)

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA AVANÇADA. **Séries históricas**. <http://www.ipeadata.gov.br/> (04 nov. 2003)

ITAIPU. **Dados técnicos**. <http://www.itaipu.gov.br/> (23 set. 2003)

JAYADEVAPPA, R.; CHHATRE, S. International trade and environmental quality: a survey. **Ecological Economics**, v.32, n.1, p.175-194, 2000.

JOHN, A.; PECCHENINO, R. An overlapping generations model of growth and the environment. **The Economic Journal**, v.104, n.3, p.1393-1410, 1994.

JOHNSTON, J. **Econometric methods**. New York: McGraw-Hill, 1963. 300p.

KAMOGAWA, L.F.O. Impactos do crescimento econômico na degradação ambiental das reservas de água doce: uma aplicação do modelo EKC no Brasil. Piracicaba, 2001. 42p. Monografia (Graduação) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

KAMOGAWA, L.F.O.; SHIROTA, R. Impactos do crescimento econômico na degradação ambiental das reservas de água doce: uma aplicação do modelo EKC no Brasil (compact disc). In: CONGRESSO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA

RURAL, 41., Juiz de Fora, 2003. **Anais**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite, 2003. 22p.

KUZNETS, S.S. **Teoria do crescimento econômico moderno**. Rio de Janeiro: Zahar, 1974. 336p.

LOMBORG, B. **O ambientalista cético**. São Paulo: Campus, 2001. 506p.

MÄLER, K.G. International environmental problems. In: **Environmental Economics**. Baltimore: Earthscan Publications, 1992. 314p.

MALTHUS, T. **Princípios sobre economia política**. São Paulo: Abril, 1983. 385p.

MATHER, J.R. **Water resources: distribution, use, and management**. New York: John Wiley & Sons/V.H. Winston & Sons, 1984. 439p.

MATSUOKA, S. **Economic growth, energy consumption and sustainable development in Asia**. Hiroshima: Hiroshima University, Graduate School for International Development and Cooperation, 1997. 25p. (IDEC Research Paper Series)

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Previsão de séries temporais**. 2.ed. São Paulo: Atual Editora, 1985. 439p.

MUNASINGUE, M. Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth?: tunneling through the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v.29, n.1, p.89-109, 1999.

MURADIAN, R.; MARTINEZ-ALIER, J. Trade and the environment: from a `southern` perspective. **Ecological Economics**, v.35, n.2, p.281-297, 2001.

MUSTOE, J. **An atlas of renewable energy resources:** in the United Kingdom and North America. New York: John Wiley & Sons, 1984. 202p.

NICHOLSON, W. **Microeconomics theory.** 8.ed. Stamford: South-Western Thompson Learning, 2002. 748p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Documentation, stamps and data bases.** <http://www.un.org/> (14 May 2003)

OPSHOOR, H. **Economic growth, the environment and welfare:** are they compatible? Amsterdam: The Hague and Vrije Universiteit, 1998. 30p. (Working Paper)

POMPEU, C.T. Águas doces no direito brasileiro. In: **Águas doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados (IEA)/Academia Brasileira de Ciências (ABC), 1999. p.601-635.

PRYDE, P.R. **Nonconventional energy resources.** New York: John Wiley & Sons, 1983. 270p.

PRYOR, C.A. Environmental impacts of renewable energy and alternatives development strategies. In: CHATTERJI, M. **Energy and environment in the developing countries.** New York: John Wiley & Sons, 1981. 316p.

RADETZKI, M. **Economic growth and the environment.** Washington: The World Bank, 1992. p.121-134 (Working Discussion Paper, 159)

RANDALL, A. **Resource economics:** an economic approach to natural resource and environmental policy. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 434p.

- RAVEN, P.; EVERT, R.; EICHORN, S. **Biologia vegetal**. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1996. p.406-437.
- REBOUÇAS, A.C. Panorama da água doce no Brasil. In: **Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil**: Rio 92, cinco anos depois. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências (ABC)/Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados (IEA)/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), 1997. p.1-151.
- REBOUÇAS, A.C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: Águas doces no Brasil – capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados (IEA)/Academia Brasileira de Ciências (ABC), 1999. p.1-37.
- RELATÓRIO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES. São Paulo: Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), 1980-2003.
- RICARDO, D. **Notas aos princípios de economia política de Malthus**. São Paulo: Abril, 1983. 332p.
- RICHMOND, A.K; KAUFMANN, R.K. **Is there a Kuznets curve for energy use and carbon emission?** Boston: Boston University, Centre for Energy and Environmental Studies, 2003. <http://cybele.bu.edu/download/manuscripts/arr01.pdf> (03 Nov. 2003)
- SELDEN, T.M.; SONG, D. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? **Journal of Environmental Economics and Management**, v.27, n.1, p.147-162, 1994.

- SETTI, A.A. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)/Agência Nacional de Águas (ANA), 2001. 258p.
- STERN, D.I.; COMMON, M.S.; BARBIER, E.B. Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. **World Development**, v.24, n.3, p.1151-1160, 1996.
- SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. **Economic growth and environmental quality**. Washington: The World Bank, 1992. 50p. (Working Paper, 904)
- SHAFIK, N. Economic development and environmental quality: an econometric analysis. **Oxford Economics Papers**, v.46, n.2, p.757-773, 1994.
- SMITH, A. **A riqueza das nações**. São Paulo: Abril, 1983. 343p.
- STEPHENSON, D.; PETERSEN, M. **Water resources development in developing countries**. New York: Elsevier Science Publishers B.V., 1991. 289p.
- STOKEY, N.L. Are there limits to growth? **International Economics Review**, v.39, n.1, p.1-31, 1998.
- UNRUH, G.C.; MOOMAW, W.R. An alternative analysis of apparent EKC-type transition. **Ecological Economics**, v. 25, n.2, p.221-229, 1998.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE 1 - Resolução CONAMA nº 20.**

Como o estabelecimento de padrões de qualidade de água é considerado essencial na manutenção da qualidade dos corpos de água, foi criado em 1986 a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio-Ambiente) nº 20, que determina padrões de qualidade tanto para água doce quanto para as águas salinas e salobras.

Esta classificação leva em conta, essencialmente, padrões de qualidade para uso humano. Assim, não necessariamente um corpo de água que esteja em conformidade com os padrões estabelecidos estará em equilíbrio biótico (Quadro 4). Elas foram feitas em níveis de acordo com a utilização a elas destinadas (Quadros 5), com especial atenção aos corpos de água destinadas ao abastecimento humano.



Classificação	Padrões de Qualidade
Especial	<p>a) coliformes fecais: para o uso de abastecimento sem prévia desinfecção os coliformes totais deverão estar ausentes em qualquer amostra;</p> <p>b) estar em conformidade com os padrões da classe I.</p>
Classe I	<p>a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;</p> <p>b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;</p> <p>c) substâncias que comuniquem gosto ou dor: virtualmente ausentes;</p> <p>d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;</p> <p>e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;</p> <p>f) coliformes fecais: irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas (ausente) demais usos 200 (NMP/100 mililitros)</p> <p>g) DBO (5,20): até 3 mg/l;</p> <p>h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/l;</p> <p>i) turbidez: até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);</p> <p>j) cor: nível de cor natural do corpo de água em mgPt/l</p> <p>l) pH: 6,0 a 9,0;</p> <p>m) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos):</p> <p>Benzeno: 0,01 mg/l</p> <p>Cádmio: 0,001 mg/l Cd</p> <p>Cianetos: 0,01 mg/l CN</p> <p>Chumbo: 0,03 mg/l Pb</p> <p>Cloretos: 250 mg/l Cl</p> <p>Cobre: 0,02 mg/l Cu</p> <p>Índice de Fenóis: 0,001 mg/l C6 H5OH</p> <p>Fluoretos: 1,4 mg/l F</p> <p>Fosfatos totais: 0,025 mg/l P</p> <p>Mercúrio: 0,0002 mg/l Hg</p> <p>Sólidos dissolvidos totais 500 mg/l</p> <p>Sulfatos: 250 mg/l SO4</p> <p>Zinco: 0,18 mg/l Zn</p> <p>DDT: 0,002 ug/l</p>
Classe II	<p>Para as águas de Classe 2, são estabelecidos os mesmos limites ou condições da Classe 1, à exceção dos seguintes:</p> <p>a) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtrações convencionais;</p> <p>b) coliformes fecais: até 1.000 (NMP/100ml);</p> <p>c) cor: até 75 mg Pt/l;</p> <p>d) turbidez: até 100 UNT;</p> <p>e) DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/l;</p> <p>f) OD em qualquer amostra não inferior a 5 mg/l</p>

Quadro 4 - Padrões selecionados de qualidade de água doce de acordo com sua classificação estabelecida pela Resolução CONAMA nº 20.

Classificação	Padrões de Qualidade
Classe III	<p>a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais virtualmente ausentes;</p> <p>b) óleos e graxas; virtualmente ausentes;</p> <p>c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;</p> <p>d) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;</p> <p>e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;</p> <p>f) coliformes fecais: até 4.000 (NMP/100 ml);</p> <p>g) DBO (5,20): até 10mg/l;</p> <p>h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4mg/l;</p> <p>i) turbidez: até 100 UNT;</p> <p>j) cor: até 75mg Pt/l;</p> <p>l) pH: 6,0 a 9,0</p> <p>m) substâncias potencialmente prejudiciais(teores máximos):</p> <p>Benzeno: 0,01 mg/l</p> <p>Cádmio: 0,01 mg/l Cd</p> <p>Cianetos: 0,2 mg/l CN</p> <p>Chumbo: 0,05 mg/l Pb</p> <p>Cloretos: 250 mg/l Cl</p> <p>Cobre: 0,5 mg/l Cu</p> <p>Índice de Fenóis: 0,3 mg/l C6 H5 OH</p> <p>Fluoretos: 1,4 mg/l F</p> <p>Fosfato total: 0,025 mg/l P</p> <p>Merúrio: 0,002 mg/l Hg</p> <p>Sólidos dissolvidos totais: 500 mg/l</p> <p>Sulfatos: 250 mg/l SO4</p> <p>Zinco: 5,0 mg/l Zn</p> <p>DDT: 1,0 ug/l</p>
Classe IV	<p>a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;</p> <p>b) odor e aspecto: não objetáveis;</p> <p>c) óleos e graxas: toleram-se iridicências;</p> <p>d) substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;</p> <p>e) índice de fenóis até 1,0 mg/l;</p> <p>f) OD superior a 2,0 mg/l O2 em qualquer amostra;</p> <p>g) pH: 6 a 9.</p>

Quadro 4 - Padrões selecionados de qualidade de água doce de acordo com sua classificação estabelecida pela Resolução CONAMA nº 20.

Fonte: Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP) (2003); Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) (2003)

Classificação	Uso destinado
Classe Especial	a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção. b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe I	a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho). d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas. e) à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécie destinadas à alimentação humana.
Classe II	a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; e) à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécie destinadas á alimentação humana.
Classe III	a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à dessedentação de animais.
Classe IV	a) à navegação b) à harmonia paisagística; c) aos usos menos exigentes.

Quadro 5 - Classificação dos corpos de água doce e respectivos usos destinados de acordo com a Resolução CONAMA nº 20.

Fonte: SABESP (2003); CETESB (2003)

## APÊNDICE 2 - IQA/CETESB (Índice de qualidade de águas).

Para facilitar a interpretação dos parâmetros de qualidade de água utilizados no presente estudo, foi desenvolvido e adaptado pela CETESB um indicador inspirado em um trabalho de 1970 do *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos.

Este indicador é o IQA (Índice de Qualidade de Águas), um indicador desenvolvido e calculado pela CETESB desde de o final da década de 70.

O IQA é calculado com base em 9 indicadores de qualidade de água (coliformes fecais, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e OD) e é calculado pelo produtório ponderado destes indicadores (os valores atribuídos a cada indicador é função de uma distribuição que tem como critério seu estado ou condição) (Figura 21), conforme as equações (18) e (19) abaixo.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (19)$$

Onde:

$IQA$  é o índice de qualidade de água, variando de 0-100;

$q_i$  é a qualidade do parâmetro  $i$  que é função de sua distribuição de qualidade (Figura 21);

$w_i$  é o peso correspondente do indicador de qualidade  $i$  (Figura 21).

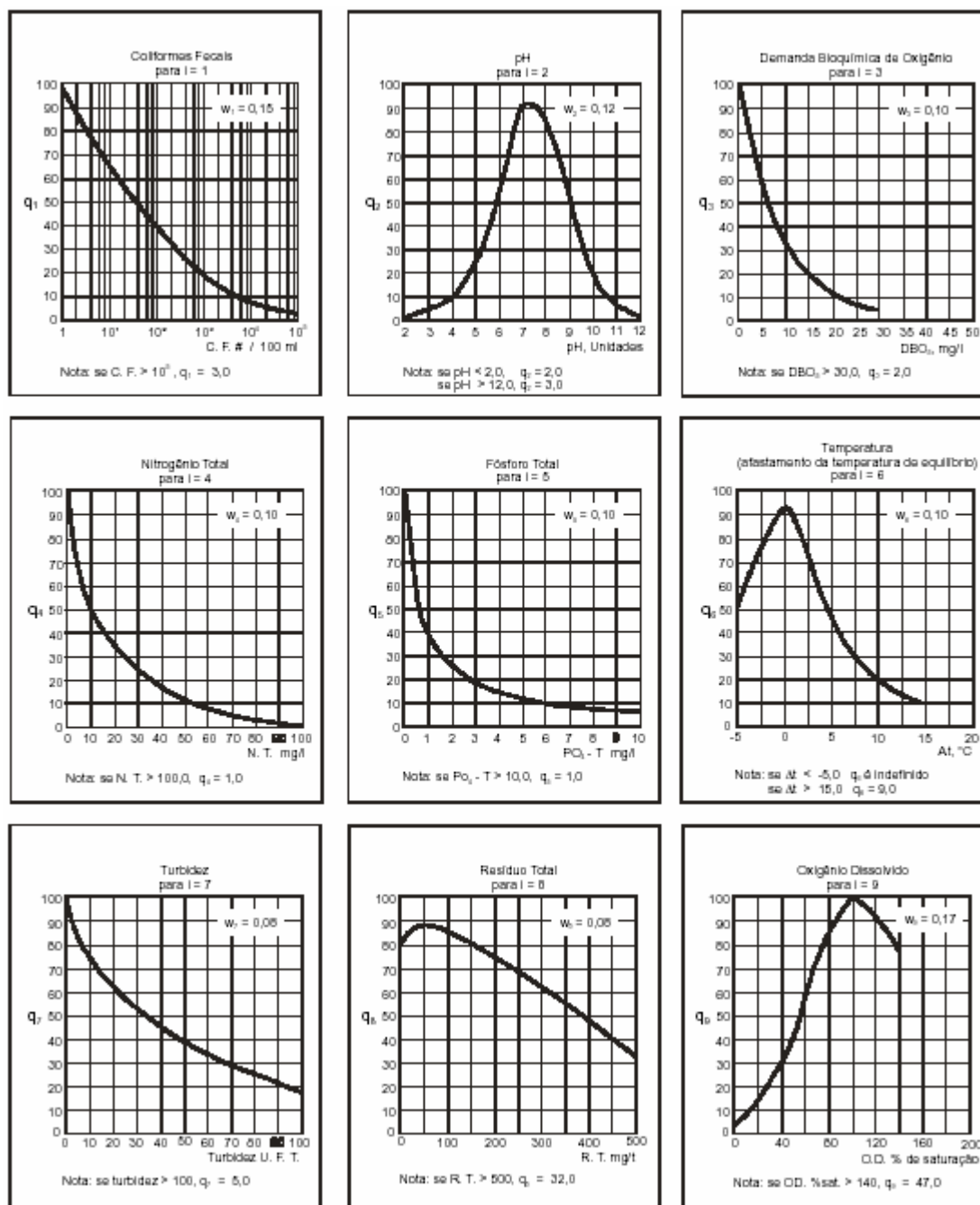


Figura 21 - Curvas de distribuição de qualidade dos indicadores de qualidade de água e seus respectivos pesos ( $w_i$ ) no valor final do IQA/CETESB (Índice de Qualidade de Água).

Fonte: CETESB (2003)

### APÊNDICE 3 - UGRHI-06 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos-06).

O Estado de São Paulo é dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) (Figura 22). E a qualidade das reservas de água doce é monitorada por uma rede de estações de análise de dados espalhadas ao longo destas UGRHI's. Inaugurada em 1978 com 47 pontos de análise, em 2001 esta rede de monitoramento já contava com 149 pontos de coleta de dados.

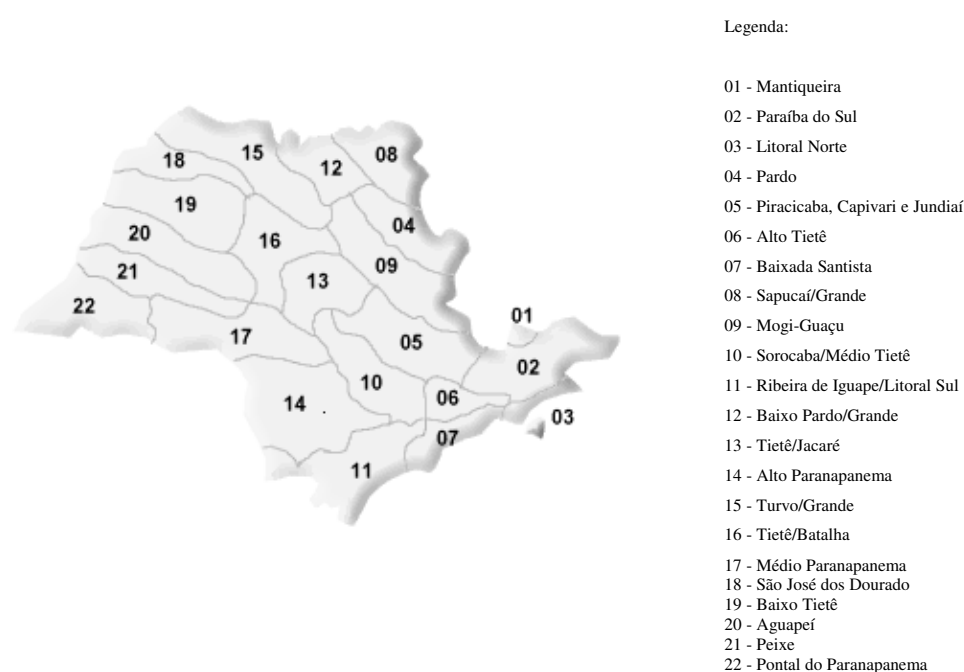


Figura 22 - Mapa da divisão das unidades de gerenciamento de recursos hídricos.

Fonte: CETESB (2003)

Entre estas UGRHI's destaca-se a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06 (UGRHI-06), que corresponde à parte superior do Rio Tietê, desde a sua cabeceira até a Barragem do Reservatório de Pirapora (Figura 23). Ela possui uma extensão de 134 Km<sup>2</sup>, sendo composta por 34 municípios, incluindo o município mais populoso do Estado (Município de São Paulo) (Quadro 6). A população total da UGRHI era de 17,6 milhões de pessoas em 2001 (48% da população do Estado de São Paulo) (CETESB, 2003).

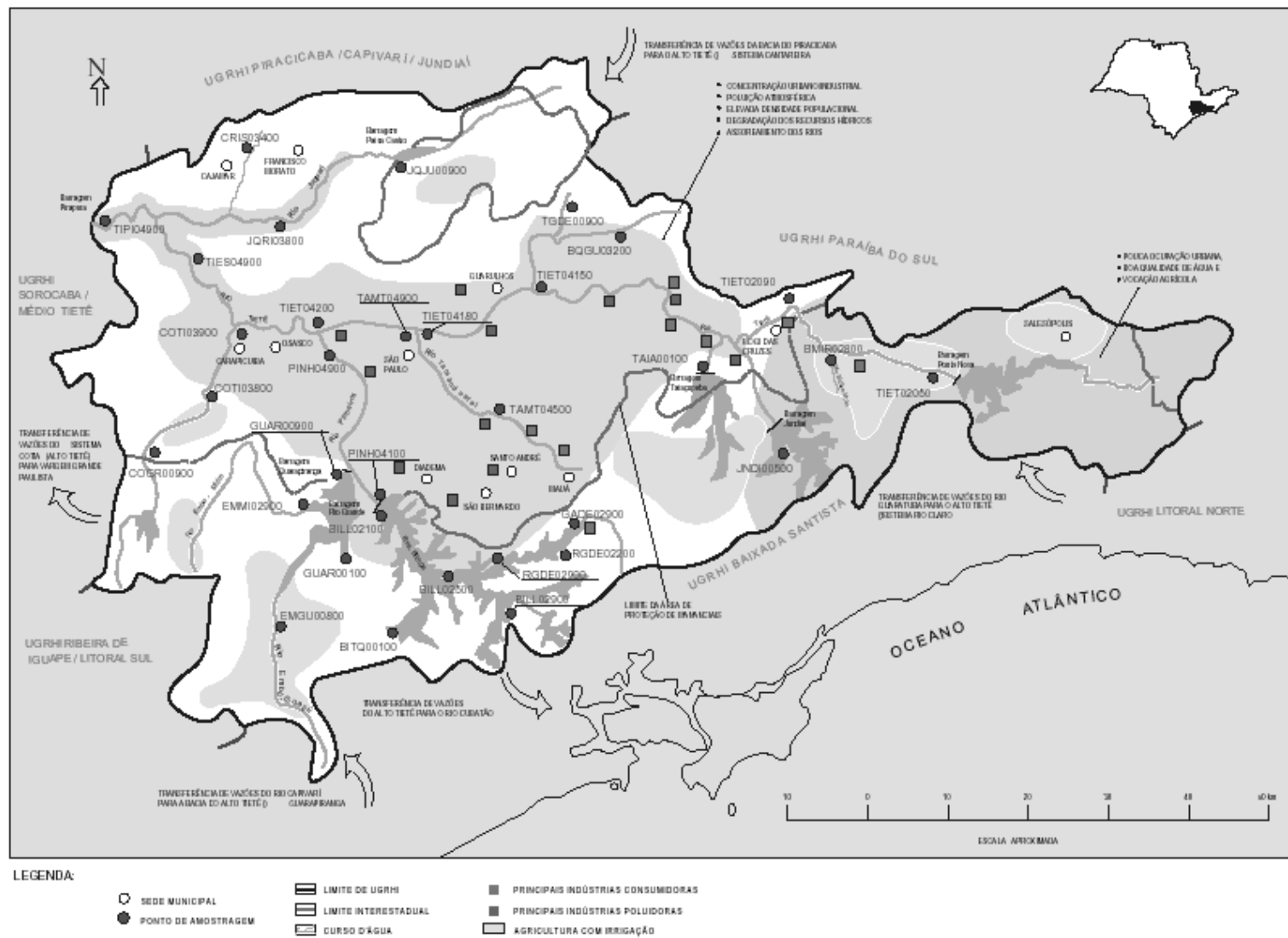


Figura 23 - Mapa da UGRHI-06 (Unidade de gerenciamento de recursos hídricos 06), Alto Tietê.

Fonte: CETESB (2003)

Arujá	Embu	Itaquaquecetuba	Ribeirão Pires	Suzano
Barueri	Embu-Guaçu	Jandira	Rio Grande da Serra	Taboão da Serra
Biritiba-Mirim	Ferraz de Vasconcelos	Mariporã	Salesópolis	
Caieras	Francisco Morato	Mauá	Santana de Parnaíba	
Cajamar	Franco da Rocha	Moji das Cruzes	Santo André	
Carapicuíba	Guarulhos	Osasco	São Bernardo do Campo	
Cotia	Itapecerica da Serra	Pirapora do Bom Jesus	São Caetano do Sul	
Diadema	Itapevi	Poá	São Paulo	

Quadro 6 - Municípios pertencentes à UGRHI-06 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos-06).

Fonte: CETESB (2003)



#### APÊNDICE 4 - Sistema de Tratamento de Esgotos na UGRHI-06.

Na UGRHI-06 a responsabilidade pelo tratamento de esgotos é da SABESP (Companhia de Saneamento e Abastecimento de Águas de São Paulo). Esta UGRHI é dividida em cinco diferentes sistemas (em ordem de relevância em função da população atendida: Barueri – 52%, ABC – 16%, Novo Mundo – 14%, São Miguel – 8%, e Suzano – 8%) (Figura 24).



Figura 24 - Mapa de distribuição dos sistemas de esgotos na região metropolitana de São Paulo e suas respectivas ETE's.

Fonte: SABESP (2003)

O esgoto gerado dentro dos correspondentes sistemas é coletado e posteriormente tratado nas ETE's (Estações de Tratamento de Esgoto) correspondentes à localização do seu sistema.

Atualmente com uma capacidade de atender 6,5 milhões de habitantes (36% do total), o sistema é capaz de remover 168.000 kg de DBO por dia (correspondentes de 90 a 95% de toda a carga orgânica) gerando aproximadamente 229 toneladas de lodo. Além de remover os dejetos originados do esgoto ele também é capaz de gerar e aproveitar alguns sub-produtos<sup>45</sup> resultantes do processo de tratamento do esgoto (SABESP, 2003).

---

<sup>45</sup> Como o fertilizante proveniente dos resíduos biossólidos e a água de re-uso são alguns dos exemplos dos resíduos aproveitados e comercializados pelo sistema (SABESP, 2003).

**APÊNDICE 5 - Pontos de coleta de dados de qualidade de água utilizados na amostra.**

Estação	Classe <sup>a</sup>	Localização
TAMT04500	4	Rio Tamanduateí
TAMT04900	4	Rio Tamanduateí
TIET04150	4	Rio Tietê
TIET04200	4	Rio Tietê
TIES04900	4	Reservatório Edgar Souza
TIPI04900	4	Reservatório de Pirapora
PINH04100	4	Rio Pinheiros

Quadro 7 - Pontos de coleta de dados de qualidade de água utilizados na amostra de dados.

Fonte: CETESB (2003)

<sup>a</sup> Segundo a classificação da Resolução CONAMA nº 20.

## APÊNDICE 6 - Indicador de preço de energia.

Como o atual estudo analisa o consumo total de energia incluindo todas as fontes de energia, é necessária a utilização de uma variável proxy para o preço de todas estas fontes de energia. Porém, novamente chegamos a outro entrave, a inexistência no país de uma *proxy* para o preço da energia no país.

Para contornarmos este problema, o presente estudo sugere a criação de um indicador de preços para a energia no país.

Este indicador não é nada mais que uma média ponderada dos indicadores de preços das três principais fontes de energia no país em todo o período do estudo, os derivados de petróleo, a hidroeletricidade e a lenha (Figura 25). Juntos em uma média para as décadas de 70, 80 e 90, estas fontes, correspondem a 76% de toda a matriz energética do país (Brasil, 2003).

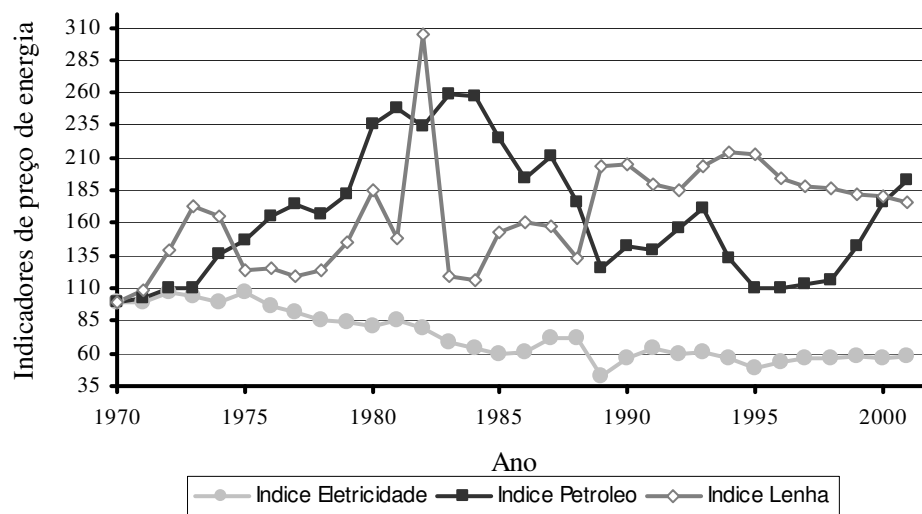


Figura 25 - Evolução dos indicadores de preço das fontes de energia que compõem o indicador geral de preços de energia (em valores reais) (1970=100): 1970-2001.

Logicamente o ideal seria a utilização de todas as fontes que compõe a matriz energética. Entretanto, devido à disponibilidade das séries de preços para as outras fontes, apenas estas três foram consideradas.

A equação considerada foi a seguinte em (22):

$$P = \Phi_{pet} P_{pet} + \Phi_{hid} P_{hid} + \Phi_{len} P_{len} \quad (22)$$

Onde:

$P$  é o indicador de preços (1970=100);

$\Phi_i$  é a ponderação para cada  $i$  fonte de energia; e,

$P_i$  é o indicador de preços para cada  $i$  fonte de energia (1970=100).

Esta ponderação é feita através da participação percentual de cada fonte nesta matriz hipotética criada com estas três fontes de energia (Figura 26).

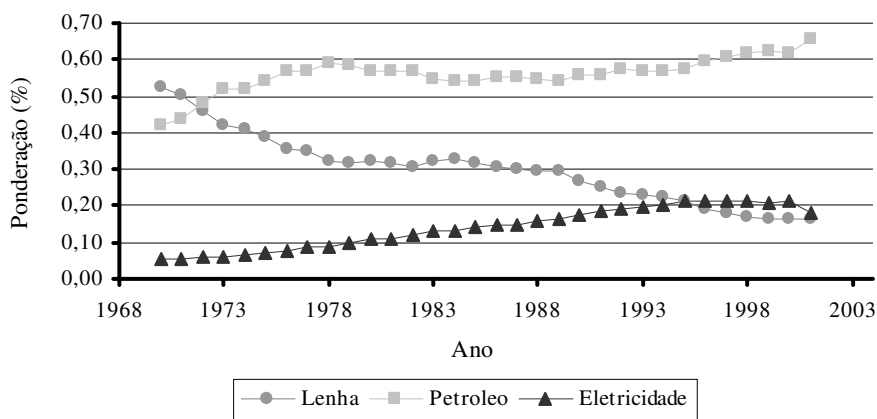


Figura 26 – Ponderação das diversas fontes energia que compõe o índice de preço de energia.

Quanto ao indicador de preços utilizados é o valor real deflacionado pelo IGP-DI de três diferentes indicadores, uma vez que seus valores estão dispostos em valores nominais. O IPA-OG (Indicador de preços por atacado – Oferta Global) combustíveis e lubrificantes no caso dos derivados de petróleo, os preços das tarifas de energia (por Kwh) para o preço da hidroeletricidade e; o IPA-OG madeira para o caso da lenha.

Todos estes valores foram convertidos para a mesma base (1970=100), sendo também esta a base inicial do indicador de preços para energia.

E ao fazer uma análise temporal do indicador, em todo o período, o maior pico de preço da energia ocorreu no ano de 1982 (correspondente ao período posterior a segunda crise do petróleo). Mantendo uma trajetória declinante deste de então até o ano 1998. Período onde ele passa novamente a crescer (Figura 27).



Figura 27 - Indicador de Preço de Energia (1970=100), 1970-2001.