

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**Relação entre o Índice de Intensidade Energética e a
Evolução das Emissões de CO₂ no Brasil (1980-2005)**

TAMARA DI BARTOLO
matrícula nº: 098211417

ORIENTADOR: Helder Queiroz Pinto Jr.

SETEMBRO 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**Relação entre o Índice de Intensidade Energética e a
Evolução das Emissões de CO₂ no Brasil (1980-2005)**

TAMARA DI BARTOLO

matrícula nº: 098211417

ORIENTADOR: Helder Queiroz Pinto Jr.

SETEMBRO 2008

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do (a) autor (a)

Às pessoas que amo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio durante a realização deste trabalho e em especial a minha querida mãe pelo apoio e incentivo nos momentos mais difíceis da minha formação.

Ao professor Helder Queiroz Pinto Jr. pela paciência, dedicação e sugestões que foram muito importantes no direcionamento deste trabalho.

Ao professor Carlos Eduardo Frickman Young pelo auxílio na pesquisa e por transmitir aos seus alunos não apenas seus conhecimentos de economia ambiental, mas a paixão pela área.

Ao professor e meu ex-orientador de pesquisa no IPEA Ronaldo Seroa da Motta pela paciência e ensinamentos que me foram transmitidos ao longo da pesquisa na instituição.

Ao Programa de Recursos Humanos da ANP, em especial ao PRH-21, por auxiliar o desenvolvimento dos conhecimentos relativos à indústria de hidrocarbonetos, e pelo financiamento da bolsa de estudos.

A todos aqueles que, enfim, colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Todo homem, cada homem, é
responsável pelo destino da humanidade –
por suas ações ou omissões.” *Dom Hélder
Câmara*

RESUMO

O índice de intensidade energética relaciona o consumo total de energia do país em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) da economia. Este indicador é utilizado como medida de eficiência da utilização energética em relação à produção de riqueza do país.

A abordagem de teorias de desenvolvimento deveu-se a necessidade de avaliar a relação da evolução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) em função do desenvolvimento econômico. A teoria de desenvolvimento de Kuznets influenciou pesquisas de desenvolvimento a partir da evolução da renda per capita, que culminaram na criação da Curva Ambiental de Kuznets.

A Curva Ambiental de Kuznets relaciona variáveis ambientais, como as emissões de CO₂, com a evolução da renda per capita. Este trabalho analisa a evolução das emissões de CO₂ em relação à evolução da intensidade energética no Brasil. Esta análise baseia-se em dados de emissão de CO₂ da produção de energia, do consumo de energia primária e de intensidade energética de 1980 a 2005.

Para relacionar estas variáveis fez-se necessário considerar algumas assunções a respeito de transformações econômicas, regulatórias e políticas que influenciaram as trajetórias dos índices de intensidade energética e de emissões de CO₂ nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento. Desta análise pôde-se concluir que a trajetória destas variáveis nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento diferencia-se devido à falta de coerência entre os objetivos das políticas energética e ambiental, dos diferentes estágios de desenvolvimento estrutural e da falta de planejamento estatal. Estas diferenças fizeram com que a evolução das variáveis intensidade energética e de emissões de CO₂ no período de 1980 a 2005 apresentasse um trajetória crescente nos países em desenvolvimento e decrescente nos países desenvolvidos.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO I – DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO	11
I.1. CURVA DE KUZNETS	11
I.1.1 Análise de Países Desenvolvidos	12
I. 1.2 Análise de Países em Desenvolvimento	14
I.1.3 Limites do indicador	16
I.2. CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS	17
I.3. IMPACTOS ECONÔMICOS DA ELEVAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	20
I.3.1 Relatório Stern	20
I.3.2 Mudanças Climáticas e Produção de Energia	23
CAPÍTULO II - INTENSIDADE ENERGÉTICA	26
II.1. CONCEITOS BÁSICOS	26
II.2. PADRÃO DE EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NOS PAÍSES DESENVOLVIDOS	29
II.3. PADRÃO DE EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	34
II.4 EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NO BRASIL	39
II.5. CENÁRIOS PROSPECTIVOS DA ESTRUTURA DE OFERTA E DEMANDA	43
CAPÍTULO III - EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA VERSUS EMISSÕES DE CO₂	47
III.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA	47
III.2 EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES NOS PAÍSES DESENVOLVIDOS	49
III.3 EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	51
III.4 EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES NO BRASIL	53
CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

INTRODUÇÃO

Entre os grandes desafios que aguardam a humanidade no século XXI, o tema mudanças climáticas desponta como um dos mais urgentes. O progressivo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) intensifica o aquecimento global trazendo conseqüências perversas para toda a sociedade. Os padrões atuais de consumo energético e tecnológico devem ser repensados para que a trajetória ascendente de aquecimento da temperatura do planeta se modifique.

O modelo de visão baseado apenas no progresso sócio-econômico poderia ser substituído por um modelo baseado no desenvolvimento sustentável, que apóia o equilíbrio racional entre progresso sócio-econômico e conservação ambiental. A energia é fundamental para impulsionar uma economia e combater a pobreza, mas sua geração e uso não podem resultar em degradação ambiental e humana.

O conceito de intensidade energética está intimamente relacionado com o conceito de eficiência econômica, pois mede a eficiência do consumo energético por unidade de produto interno bruto de uma economia. Neste sentido, o indicador de intensidade energética será de grande serventia para analisar o padrão de desenvolvimento atual, tanto dos países desenvolvidos, quanto dos países em desenvolvimento.

Para atingir as metas de redução da pobreza e melhoria do padrão de vida nos países em desenvolvimento é imperativo que se modifique o padrão de eficiência energética. A melhora da eficiência energética auxilia na redução do consumo energético, substituindo tecnologias pouco eficientes, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa, o consumo e a dependência energética.

Como relacionar intensidade energética com a evolução das emissões de CO₂? O presente trabalho na área de Economia da Energia tem por finalidade verificar se a evolução do índice de intensidade energética está diretamente relacionada à evolução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no período de 1980 a 2005. Além de fazer algumas considerações a respeito dos principais fatores que influenciam a elevação da intensidade energética, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de uma política energética sustentável.

Pretende-se chamar atenção para a necessidade de conservação do meio ambiente global, com seus recursos finitos, e para a necessidade de uma mudança nos paradigmas atuais. Apenas possuir a tecnologia e reconhecer a necessidade de redução dos impactos ao meio ambiente não é suficiente, é fundamental a utilização racional dos recursos naturais.

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma. O primeiro capítulo foca a teoria de desenvolvimento de Kuznets, que examina a evolução das desigualdades em função de variações na renda per capita. A Curva de Kuznets, como ficou conhecida, baseou a construção da Curva Ambiental de Kuznets descrita na seção seguinte, pois relaciona a evolução das emissões de CO₂ em função de variações na renda per capita. Finalizando o capítulo são apresentados o Relatório Stern, que relaciona a evolução dos impactos econômicos da elevação das emissões CO₂, a evolução das políticas relacionadas às mudanças climáticas e a participação dos setores nas emissões de CO₂.

O segundo capítulo aborda o conceito de intensidade energética e analisa o desenvolvimento deste indicador nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento. Este capítulo finda com um panorama da estrutura de oferta e demanda de energia e do PIB mundiais, que influenciam na intensidade energética mundial.

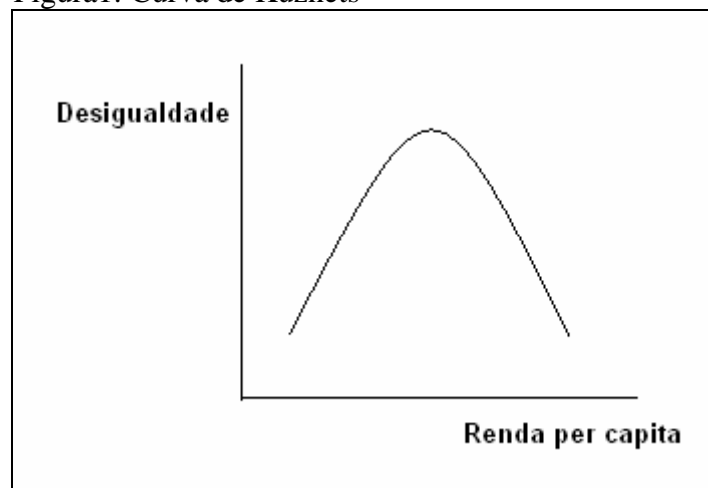
Por fim, o terceiro capítulo relaciona e analisa a evolução das emissões de CO₂ em função de variações no índice de intensidade energética dos países desenvolvidos e dos países em desenvolvimento. Focando na última seção do capítulo tal relação no Brasil.

CAPITULO I - CURVA DE KUZNETS

I.1 - Conceitos básicos

Kuznets (1955) publicou *Economic Growth and Income Inequality*, que analisa as causas das variações na distribuição de renda no desenvolvimento econômico. Desta obra originou-se a relação da evolução das desigualdades em função da elevação da renda per capita em forma de “U-invertido”, que ficou conhecida como Curva de Kuznets, conforme a figura 1 abaixo.

Figura1: Curva de Kuznets



O trabalho de Kuznets motivou nas décadas de 1960 e 1970 diversos estudos sobre desenvolvimento econômico. Os estudos sobre desenvolvimento baseiam-se principalmente em três categorias de abordagem: modelos de economia dual, modelos *new-growth*¹ e modelos de escolha pública².

A abordagem de Kuznets baseia-se no modelo de economia dual, que descreve a expansão das desigualdades no início do desenvolvimento econômico devido ao

¹ O modelo *new-growth* descreve a estrutura imperfeita do mercado de capitais como causa da elevação desigualdade entre ricos e pobres na fase inicial do crescimento econômico, com paulatina redução destas desigualdades após a redução destas imperfeições.

² O modelo de escolha pública analisa a interação entre o mecanismo econômico e o político, no qual o eleitor mediano, e suas preferências, subsidia o investimento dos pobres, promovendo uma redução das desigualdades ao longo do crescimento.

deslocamento da população do setor agrícola para as manufaturas. Com a elevação dos níveis de renda, fatores limitadores da concentração de renda tendem a frear e até reverter a expansão destas desigualdades.

A construção dos níveis de renda envolve a utilização de medidas de posição (quantis) em uma distribuição ordinal das rendas, disposta em ordem crescente, que são agrupadas em unidades familiares de despesa. Estes níveis de renda são classificados pela média dos níveis de renda durante um período de tempo suficiente para dar status de grupo – uma geração ou 25 anos. Estes níveis de renda apresentam uma estrutura fixa de análise, que representa as estruturas seculares de renda. No entanto, admite-se a movimentação das unidades de renda entre estes níveis apesar da estrutura de análise ser fixa.

Segundo Kuznets (1955), os descendentes diretos dos integrantes de cada nível de renda não necessariamente terão as mesmas habilidades técnicas e não receberão os mesmos salários. Portanto, no longo prazo ocorre uma tendência à modificação de cada nível de renda, que não permite a análise de perdas e ganhos dos diferentes níveis de renda através das gerações. A utilização de uma estrutura secular, que desconsidera a distinção entre migrantes e integrantes das diferentes classes, pode alterar percentuais e taxas de desigualdade.

Para o referido autor a questão principal consiste na análise de como o crescimento econômico modifica as desigualdades na distribuição entre os níveis seculares de renda. Sendo importante distinguir estas mudanças de variações no percentual de integrantes dos níveis de renda.

I.1.1 Análise de Países Desenvolvidos

Kuznets (1955) baseou suas inferências sobre a variação da distribuição de renda de longo prazo dos países desenvolvidos em dados coletados dos EUA, Inglaterra e Alemanha. Os dados de renda e de distribuição de renda destes países indicaram uma tendência à redução das desigualdades na distribuição da renda após os anos 1920.

Em relação aos dados analisados este autor destacou três importantes fatores. Primeiro, a renda foi medida antes das taxas e subsídios governamentais, logo não são evidenciados os repasses governamentais. Segundo, a redução das desigualdades foi acompanhada por uma significativa elevação dos níveis de renda per capita. E por fim, percebe-se uma redução da volatilidade da renda em relação a distúrbios transitórios com o passar do tempo.

Apesar de arriscado descrever a tendência da estrutura secular de distribuição de renda dos países desenvolvidos, Kuznets (1955) considerou necessário fazê-lo para explicar a trajetória em formato de “U-invertido” de sua curva. Este autor identificou duas tendências responsáveis pela elevação das desigualdades, percebidas após os anos 1920: *i*) a concentração dos níveis de poupanças nas classes mais altas da distribuição de renda e; *ii*) o aumento da população urbana, que na maioria das vezes eleva mais rapidamente sua renda per capita do que a população rural.

Por que estes fatores não agravam ainda mais as desigualdades no longo prazo? Segundo este autor, o efeito cumulativo da concentração de poupanças pode ser limitado em função: *i*) do crescimento demográfico, normalmente menor nos quantis mais elevados da distribuição de renda; *ii*) do dinamismo da economia, que modifica rapidamente a estrutura e o tamanho das empresas limitando as oportunidades em setores com maiores ganhos e; *iii*) de interferência política ou legislativa.

Nos níveis mais elevados de renda, segundo o referido autor, a tendência final dependerá da intensidade da concentração de poupança e dos fatores contrários, que podem anular ou modificar esta tendência. No entanto, o autor não destacou nenhuma tendência dominante no longo prazo.

Para analisar o fenômeno da elevação das desigualdades de renda nos países desenvolvidos decorrente do deslocamento da população rural para a área urbana, Kuznets (1955) extrapolou as evidências empíricas, que não foram consideradas suficientes. Esta análise baseou-se nas seguintes posições, percebidas empiricamente: a renda per capita urbana é maior; o setor da agricultura está reduzindo; e a desigualdade na distribuição de renda urbana é maior ou igual a da agricultura.

O movimento da população rural em busca do diferencial de renda urbano provoca a redução da população rural. Num primeiro momento, esta movimentação propicia uma redução das desigualdades na zona rural, porém eleva a desigualdade nas áreas urbanas. Com o crescimento econômico esse diferencial de renda persiste e pode ser aumentado em função do rápido crescimento da área urbana.

A ampliação das desigualdades na economia, geralmente, está associada à movimentação da população em direção a cidade numa velocidade maior que a capacidade de ajustamento dos setores urbanos. Contudo, a expansão das desigualdades nos países desenvolvidos é limitada pelos fatores, descritos acima, limitadores da concentração de

poupança - crescimento demográfico, dinamismo da economia e interferência política ou legislativa.

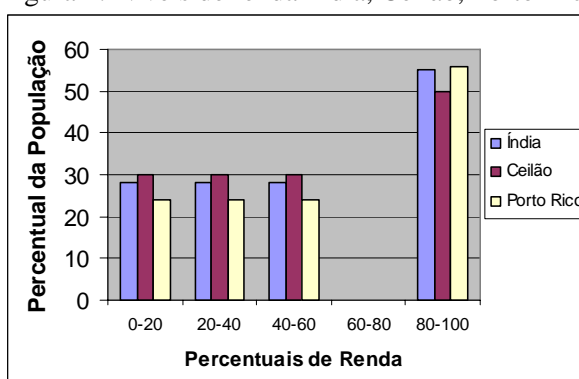
Resumindo, baseado nos dados aproximados dos países dos EUA, Alemanha e Inglaterra³, o referido autor concluiu que na trajetória de desenvolvimento econômico dos países desenvolvidos as desigualdades tenderiam a se elevar até determinado nível de renda, onde esta tendência seria invertida – seguindo uma trajetória de “U-invertido”.

I.1.2 Análise de Países em Desenvolvimento

Na análise dos países em desenvolvimento, Kuznets (1955) contava com uma pequena base de dados - o que aumenta a margem de erro desta análise. Os dados utilizados pelo autor referem-se à renda dos seguintes países: Índia em 1949 e 1950, Ceilão em 1950 e Porto Rico em 1948. Estes dados foram medidos antes das taxas e subsídios governamentais e não representam os repasses governamentais.

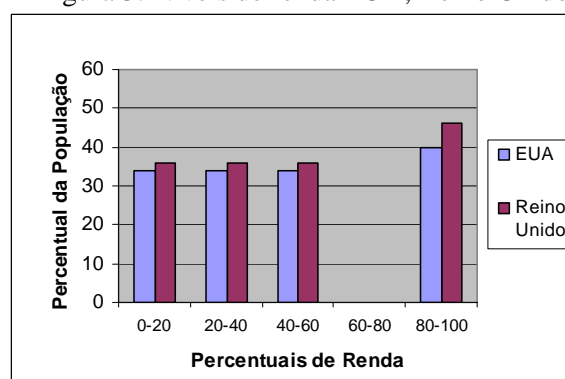
Numa análise comparativa dos dados abaixo, o referido autor percebeu uma maior desigualdade na distribuição de renda dos países em desenvolvimento do que a observada na distribuição nos países desenvolvidos. Na figura 2 pode-se verificar que a grande maioria da população está abaixo da média de renda nacional e que uma minoria concentra grandes parcelas da renda. A figura 3, de forma diversa, apresenta uma estrutura mais igualitária de distribuição de renda.

Figura 2: Níveis de renda Índia, Ceilão, Porto Rico



Fonte: Kuznets (1955) adaptado pela autora

Figura 3: Níveis de renda EUA, Reino Unido



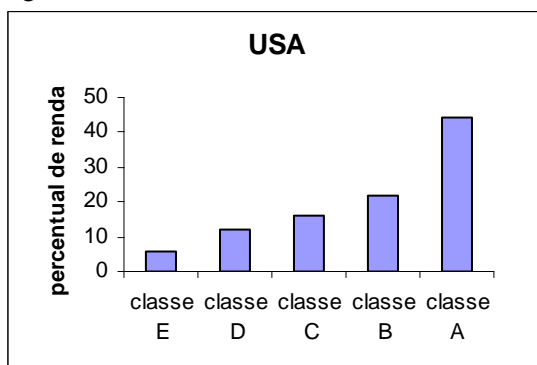
Fonte: Kuznets (1955) adaptado pela autora

³ Kuznets identificou fatores em comum para a formação de uma estrutura secular de renda, mas destacou que a Inglaterra pertencia a um estágio mais maduro de desenvolvimento.

Outro fator perverso é a constatação de que a média dos níveis de renda destes países, em geral, encontram-se abaixo do nível de subsistência. Segundo Kuznets (1955), a desigualdade nos países em desenvolvimento seria ainda maior se fossem incluídas as taxas e subsídios governamentais, pois, em geral, estes países são menos eficientes no repasse de seus tributos à população carente.

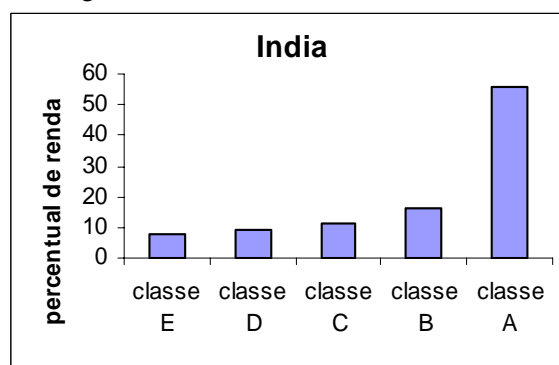
Segundo este autor os países em desenvolvimento não possuem uma classe média. Os gráficos abaixo, representam a distribuição de renda de dados dos EUA e da Índia. As figuras 4 e 5 demonstram claramente que nos países desenvolvidos a distribuição de renda entre as classes é gradual, enquanto nos países em desenvolvimento mais da metade de sua renda está concentrada em pequena parcela da população.

Figura 4: Níveis de renda EUA



Fonte: Kuznets (1955) adaptado pela autora

Figura 5: Níveis de renda Índia



Fonte: Kuznets (1955) adaptado pela autora

Num primeiro momento, verificou-se que, paralelamente à industrialização nos países em desenvolvimento, ocorria uma elevação da população superior à criação de oportunidades - que tenderia a elevar as desigualdades. No entanto, em relação à redução das desigualdades, o referido autor acredita que as forças políticas não seriam fortes e organizadas para reverter a situação. Considerando, inclusive, que a concentração de renda nos altos níveis de renda poderia levar em determinadas circunstâncias a regimes autoritários.

Kuznets (1955) deduziu, em relação aos países em desenvolvimento, que: *i*) a existência de grande quantidade de níveis de renda abaixo da média está associada a expansão das desigualdades; *ii*) a desigualdade coexiste com baixas taxas de crescimento de renda per capita; *iii*) falhas políticas e sociais e a ausência de forças dinâmicas, que revertam essa situação, devem postergar as desigualdades na distribuição de renda.

Em função de todos os fatores apresentados, o referido autor não se posicionou, como nos países desenvolvidos, a respeito da trajetória de desenvolvimento dos países em desenvolvimento.

I.1.3 Limites do Indicador

A Curva de Kuznets é criticada, principalmente, por se limitar a explicar o desenvolvimento através do aumento da renda per capita. Para Kuznets (1955) no início do desenvolvimento, representado por baixos níveis de renda per capita, ocorre uma expansão das desigualdades. A expansão destas desigualdades seria revertida com a elevação da renda per capita, que levaria a economia a uma distribuição de renda mais igualitária.

Outro fator que merece atenção é a influência da escolha das variáveis representativas de desigualdade e desenvolvimento nos resultados da análise. Índices de desigualdade e o conceito de desenvolvimento englobam diversas variáveis além da renda. Para medir a desigualdade podem ser utilizados o índice de Gini⁴, o coeficiente de Pareto e participações na renda de determinado grupo. Para medir desenvolvimento, o produto interno bruto (PIB) é a variável mais utilizada, porém esta variável não engloba aspectos sociais, políticos, educacionais e sanitários.

Em relação aos dados, o fato das rendas serem agrupadas em unidades familiares de despesa e ajustadas em relação ao número de pessoas de cada unidade familiar pode gerar diferenças entre a renda recebida e os gastos. Outro fator que pode afetar os dados é o fato das economias em diferentes estágios de desenvolvimento reagirem de forma distinta a distúrbios transitórios.

Tanto na análise dos países desenvolvidos como na análise dos países em desenvolvimento, o autor baseou suas conclusões em uma pequena base de dados empíricos. Esta pequena base de dados, que pode conter uma considerável margem de erro, baseou a construção da estrutura secular de renda utilizada como referência na análise da distribuição de renda durante o processo de desenvolvimento econômico.

A Curva de Kuznets foi muito utilizada em estudos de pobreza e crescimento voltados para a redução da pobreza. Mesmo baseada em uma base empírica tão modesta a hipótese de Kuznets foi transmitida a várias gerações de economistas.

⁴Mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita.

O estudo de casos isolados, como o artigo de Salvato et al. (2006) sobre o estado de Minas Gerais, confirmaram a hipótese de Kuznets de elevação das desigualdades num primeiro momento, com posterior reversão desta tendência. Contudo, Dollar e Kraay (2002) do Banco Mundial analisaram 92 economias durante quatro décadas e encontraram dados que contradizem a hipótese até então defendida. Este estudo refuta a teoria de Kuznets mostrando a inexistência de um único padrão de evolução da distribuição de renda.

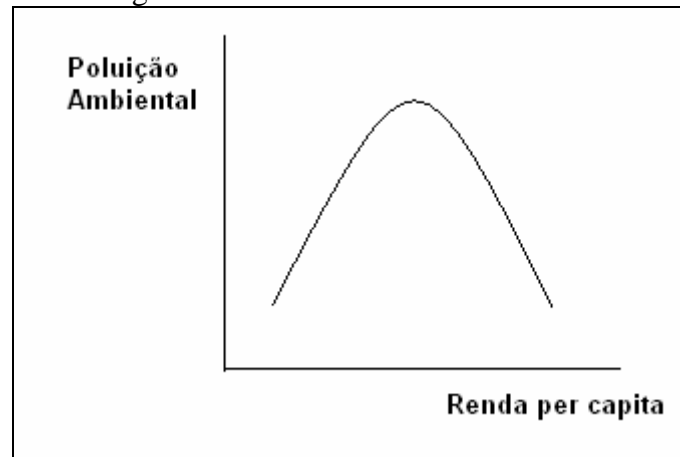
I.2. Curva Ambiental de Kuznets

A partir da década de 1990, a Curva de Kuznets, passou a ser utilizada para relacionar a evolução de variáveis ambientais em função do crescimento econômico. Esta curva, que ficou conhecida como Curva Ambiental de Kuznets, apresenta uma porção ascendente que representa a transição de uma economia agrária, considerada limpa, para uma economia industrializada, com maior emissão de poluentes. Explicada pela elevação dos níveis de poluentes que ocorre no início do desenvolvimento, aumentando, assim, a deteriorização ambiental. Em níveis mais elevados de renda per capita, fatores contrários a esta tendência provocariam uma desaceleração, que reverteria a tendência crescente dos níveis de poluição. Segundo Selden e Song (1994), os fatores contrários à elevação da poluição ambiental são os seguintes: *i*) elasticidade-renda positiva para qualidade ambiental, *ii*) mudanças na composição da produção e do consumo, *iii*) aumento do nível educacional e, *iv*) elevação da consciência ambiental.

Paralelamente ao desenvolvimento econômico elevam-se as exigências do mercado e a regulação ambiental, o que estimula o desenvolvimento tecnológico, eleva a produtividade e auxilia na redução das emissões de poluentes (SELDEN e SONG, 1994).

A Curva Ambiental de Kuznets, como ficou conhecida, tem a forma de “U-invertido”, conforme a curva original de Kuznets. A figura 6 a seguir representa graficamente a Curva Ambiental de Kuznets.

Figura 6: Curva Ambiental de Kuznets



A relação da variável poluição ambiental com a variável PIB per capita foi demonstrada inicialmente por Grossman e Krueger (1995). Estes autores utilizaram dados de poluição do ar e da água do *Global Environmental System* para 42 países nos anos de 1977, 1982 e 1988. Os referidos autores analisaram a concentração de dióxido sulfúrico e partículas suspensas no ar; e níveis de oxigênio, esgoto e metal pesado na água em função da elevação da renda per capita.

Na análise destes autores, as variáveis de poluição do ar e poluição das águas em função da elevação da renda per capita seguiram o formato de “U-invertido”, de acordo com a Curva Ambiental de Kuznets. Segundo estes autores, no início do desenvolvimento, o movimento ascendente da curva é determinado principalmente pela renda. A elevação dos níveis de poluição no início do desenvolvimento ocorreria até certo nível limite, quando os fatores amortecedores desta tendência se sobreporiam invertendo o movimento. Apenas a variável coliformes fecais não seguiu a mesma tendência, segundo estes autores, provavelmente, em função da variável não estar relacionada à produção de bens de consumo.

A maioria das variáveis analisadas pelos referidos autores seguiu o formato da Curva Ambiental de Kuznets. O ponto de inflexão variou de acordo com o poluente, mas em geral foi alcançado no nível de renda per capita de U\$ 8.000,00 (GROSSMAN e KRUEGER, 1995). Para estes autores a inversão da tendência está relacionada, provavelmente, ao aumento da demanda por proteção ambiental com a elevação da renda per capita.

É fundamental observar que o aumento da regulação ambiental nos países desenvolvidos induz à transferência de produções intensivas em poluição para os países em desenvolvimento. O ambiente desregulado da fase inicial de desenvolvimento dos países em desenvolvimento é considerado ideal para a produção de bens intensivos em poluição

(GROSSMAN e KRUEGER, 1995), e segundo estes autores, é possível que este seja o fator de maior influência para a rápida expansão da poluição ambiental nestes países.

Conforme Lopez e Mitra (2000) a Curva Ambiental de Kuznets depende da elasticidade de substituição na produção dos fatores de produção e da poluição. Para estes autores, a relação entre poluição e renda per capita altera sua direção de ascendente para descendente em função de alterações nas preferências da sociedade, que se refletem em alterações na regulação. Segundo estes autores, no nível social ótimo ocorrerá a reversão da tendência ascendente desta curva que relaciona renda per capita e poluição.

Segundo os referidos autores a possibilidade de utilizar a Curva Ambiental de Kuznets para os países em desenvolvimento dependerá da existência de um controle efetivo da poluição ambiental. Em relação aos níveis de corrupção, ao contrário do que se poderia esperar, estes não parecem influenciar a Curva Ambiental de Kuznets.

No ano de 2000, Harbaugh, Levinson e Wilson (2000) contrariaram as evidências empíricas de Grossman e Krueger (1995) ampliando a base de dados destes autores - incluíram um maior número de países, anos e variáveis de controle. A expansão da análise revelou resultados distintos dos encontrados anteriormente, evidenciando a existência de pouco suporte empírico para a Curva Ambiental de Kuznets.

Arraes (2006) chegou a resultados semelhantes à Curva Ambiental de Kuznets, apenas na análise das variáveis CO₂ e taxa de mortalidade em função da elevação da renda per capita. As demais variáveis - abastecimento de água, rede de esgoto e alfabetização – relacionadas à evolução da renda per capita, apresentaram um comportamento distinto. Para este autor a existência de monitoramento internacional e de acordos normativos poderia explicar o comportamento global da variável CO₂.

Existe uma grande discussão sobre a existência de evidências empíricas legítimas que sustentem a Curva Ambiental de Kuznets. Sun (1999) demonstrou ser verdadeira a trajetória de “U-invertido” da Curva Ambiental de Kuznets para emissão de CO₂ em países que têm um pico de intensidade energética como a China⁵. Contudo, esta evidência não significa que possa ser criada uma regra que relacione variáveis de qualidade ambiental com o crescimento econômico. Segundo este autor, a elevação do nível de renda é uma condição necessária para a melhora da qualidade ambiental e declínio das emissões de CO₂, mas não suficiente.

⁵ O capítulo II irá detalhar o conceito de intensidade energética.

I.3. Impactos Econômicos da Elevação das Emissões de CO₂

I.3.1 Relatório Stern

Após a Revolução Industrial a capacidade do homem de intervir na natureza aumentou significativamente. Essa intervenção tem causado desequilíbrios ambientais crescentes em função da utilização de recursos naturais de forma mais rápida que a capacidade de reconstituição destes recursos. A sociedade passou a alterar o clima em escala global devido à integração produtiva, ao aumento da população e à elevação da capacidade tecnológica e científica.

A Conferência de Estocolmo⁶, em 1972, teve como principal objetivo alertar a sociedade sobre os riscos ambientais causados pelo modelo de desenvolvimento vigente. Neste período os países em desenvolvimento defendiam-se com o discurso de que era necessário poluir para alcançar produtividade, progresso e riqueza.

Em 1990, o relatório sobre mudanças climáticas⁷ do IPCC (2001) (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) formalizou os estudos científicos sobre a intervenção das atividades humanas nas mudanças climáticas. Este relatório descreveu a contribuição percentual das emissões antrópicas de cada gás do efeito estufa, apresentando o CO₂ como responsável por 55% da elevação do efeito estufa de 1980 a 1990. Outros gases como o metano e os CFCs⁸, são responsáveis respectivamente por 15% e 17% deste efeito.

Conforme o IPCC (2007), do período pré-industrial até 2005 a concentração global de dióxido de carbono (CO₂) aumentou de cerca de 280 partes por milhão (ppm) para 379 ppm. A concentração de metano aumentou do período pré-industrial de cerca de 715 partes por bilhão (ppb) para 1774 ppb em 2005. De acordo com o referido relatório a faixa natural de concentração destes gases nos últimos 650.000 anos foi de 180 a 300 ppm e 320 a 720 ppb respectivamente.

É importante notar que a utilização de combustíveis fósseis é a principal fonte de emissão de CO₂. Outro fator que intensifica as emissões de CO₂ é a destruição das florestas. A

⁶ A Conferência de Estocolmo foi a primeira conferência mundial que discutiu temas especificamente ambientais, apresentando a necessidade do estabelecimento de políticas de controle da poluição ambiental e do consumo de recursos naturais não renováveis.

⁷ O conceito de mudanças climáticas evidencia as conseqüências diretas e indiretas das atividades humanas que provocam uma elevação do efeito estufa, que pode ameaçar o desenvolvimento das espécies; embora a absorção de calor por determinados gases da atmosfera, dentro de determinada faixa, seja essencial à vida terrestre.

⁸ O clorofluorcarboneto ou clorofluorcarbono (CFC) é essencialmente produzido pelo homem. E é obtido na produção de solventes orgânicos, gases para refrigeração e propelentes em extintores de incêndio e aerossóis.

elevação da concentração de metano (CH₄) e de óxido nitroso (N₂O) é causada principalmente pela agricultura.

Em 2006, o Relatório Stern (2006) alertou em relação ao custo das mudanças climáticas causadas pela elevação da concentração dos gases de efeito estufa. Conforme tal relatório, postergar a mitigação das emissões destes gases terá custos crescentes para a sociedade. Por conseguinte, o adiamento da estabilização destas emissões será cada vez mais custoso para a economia mundial.

Conforme o referido relatório, o custo e os riscos das alterações climáticas equivalem a uma perda anual de 5% do PIB mundial. Caso os *policy-makers* não utilizem os instrumentos de redução das emissões ou se a inovação das tecnologias de baixo carbono for retardada os custos das mudanças climáticas serão ainda maiores para a economia mundial.

O referido relatório estima o custo da estabilização da concentração de CO₂e⁹ na atmosfera (entre 500 e 550 ppm)¹⁰, com a ação sustentada no longo prazo, é de aproximadamente 1% a.a. (ao ano) do PIB mundial. O que reafirma que a pronta mitigação das mudanças climáticas é uma estratégia a favor do crescimento econômico de longo prazo. Devendo ser considerada um investimento que evitará riscos e conseqüências futuras.

De acordo com tal relatório, para a estabilização dos níveis de CO₂e no longo prazo, as emissões anuais devem ser reduzidas para cerca de 80% dos níveis atuais até 2050. O setor de energia, o maior emissor, deverá reduzir suas emissões para 60% dos níveis atuais até 2050.

Para a redução das emissões será necessária a adoção de tecnologia limpa, na produção de energia e calor, e nos transportes; além do aumento da eficiência energética e de alterações na demanda energética.

O modelo atual de desenvolvimento vem aumentando rapidamente a infra-estrutura intensiva em carbono e a demanda por energia e transporte. Com a continuidade dos padrões atuais o nível de 550 ppm de CO₂e poderá ser alcançado antes de 2035. Neste nível a elevação da temperatura média esperada é de 2°C. Esta temperatura já ameaça algumas regiões em relação ao acesso à água, a produção de comida, a saúde e ao meio ambiente.

De acordo com o referido autor a continuidade do cenário atual deve, com 50% de probabilidade, induzir a uma elevação de temperatura de 5°C no final deste século. Esta elevação teria conseqüências tão danosas para a economia mundial, que foram comparadas

⁹ CO₂e (dióxido de carbono equivalente) é definido como a soma do poder calorífico dos gases do efeito estufa representados em unidades de dióxido de carbono.

¹⁰ De acordo com o relatório Stern (2006), na época, a concentração de CO₂e na atmosfera era de 430 ppm.

com as grandes guerras e a Grande Depressão - com enorme declínio de colheitas, alagamento de grande cidades, extinção de várias espécies e aumento de desastres meteorológicos.

As alterações climáticas terão conseqüências sobre a produção, a vida e o ambiente. Todos os países serão afetados, porém os impactos serão sentidos de maneira diferenciada pelas economias. De acordo com o referido relatório, os países e populações mais pobres são os mais vulneráveis às alterações climáticas. As regiões mais afetadas serão o oeste africano, a bacia do rio Nilo e a Ásia Central.

As populações mais ricas, localizadas em altas latitudes, inicialmente serão beneficiadas com a melhora das colheitas devido aos efeitos do aumento da temperatura, com a redução da energia gasta em aquecimento e com a redução da mortalidade no inverno, além da possibilidade de elevação do turismo. Contudo, no longo prazo, os efeitos das mudanças climáticas terão impacto negativo elevado sobre o crescimento de toda a economia mundial.

Segundo o Relatório Stern (2006), as emissões de gases do efeito estufa têm sido e continuam a ser dirigidas pelo crescimento econômico. Os países em desenvolvimento, que possuem uma indústria mais intensiva em energia, serão responsáveis pela maior elevação das emissões em função de maiores taxas de crescimento da população e do PIB.

As mudanças climáticas, descritas como a maior imperfeição de mercado já vista, necessitarão de mecanismos de política para corrigi-las. Segundo o referido relatório são essenciais os seguintes mecanismos de política: *i*) a fixação de preço para as emissões de carbono, através de taxas, comércio ou regulação; *ii*) apoio à inovação e à utilização de tecnologias de baixa emissão; *iii*) remover barreiras à inovação e informar sobre as mudanças climáticas.

Uma maior regulação pode induzir a redução das emissões com a manutenção do crescimento econômico. O efetivo combate às alterações climáticas deve basear-se em uma ação internacional conjunta para a compreensão e implementação de acordos globais. A visão internacional compartilhada é essencial para atingir os objetivos de estabilização das emissões no longo prazo. Os mecanismos de políticas devem fortalecer elementos fundamentais para a cooperação internacional como: o mercado de emissões, a cooperação tecnológica, acordos para a redução do desmatamento e o auxílio dos países ricos no desenvolvimento dos países mais pobres e mais vulneráveis.

I.3.2 Mudanças Climáticas e Produção de Energia

Desde o primeiro relatório do IPCC em 1990, diversas pesquisas foram demandadas visando reduzir as divergências técnicas em relação às mudanças climáticas. Contudo, pode-se observar que os métodos matemáticos mais sofisticados, com maior grau de confiança, não contradizem os resultados anunciados pelo IPCC em 1990. O primeiro Relatório de Avaliação do IPCC concluiu que a continuação do acúmulo de gases de efeito estufa antrópicos na atmosfera conduziria à mudança do clima, cujo ritmo e magnitude provavelmente teriam efeitos importantes nos sistemas natural e humano.

Segundo o relatório Mudança do Clima 2007 do IPCC, os últimos doze anos foram os 12 anos mais quentes do registro da temperatura global desde 1850. A tendência linear de aquecimento dos últimos 50 anos é quase o dobro da tendência dos últimos 100 anos.

O Protocolo de Kyoto¹¹, um acordo global que entrou em vigor em 2005, é composto por 175 partes. Neste acordo 41 países, integrantes do Anexo I, comprometeram-se em reduzir suas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis de 1990.

O relatório GHG Data 2006 (2006) analisou a evolução da redução das emissões dos países do Anexo I e constatou que apenas 22 dos 41 integrantes do Anexo I reduziram suas emissões. A tabela 1 a seguir demonstra a pequena modificação do perfil das emissões dos GEE dos países do Anexo I de 1990 a 2004.

Tabela 1: Percentual de Emissões por gás de 1990 - 2004

Ano \ Gás	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFCs
1990	80,4	11,2	7,0	1,4
2004	83,1	9,5	5,9	1,5

Fonte: GHG Data 2006 (2006, p.15). Adaptado pela autora.

O setor de energia, um dos principais emissores, aumentou a sua participação nas emissões em 3% de 1990 a 2004. No mesmo período, as emissões de CO₂ aumentaram 3,36% e as emissões de metano reduziram 15,18%. Os setores de agricultura e lixo, maiores emissores de metano, reduziram suas emissões em 16,6% e 6%, respectivamente. A tabela 2 abaixo apresenta a participação percentual das emissões por setor.

¹¹ O Protocolo de Kyoto é um acordo internacional que estabelece metas de redução de gases poluentes para 41 países industrializados que compõem o Anexo I deste Protocolo. Estes países comprometeram-se a reduzir no chamado primeiro período de compromisso do protocolo, de 2008 a 2012, suas emissões a níveis pelo menos 5,2% menores do que os que vigoravam em 1990.

Tabela 2: Percentual por Setor nos países do Anexo I de 1990 - 2004

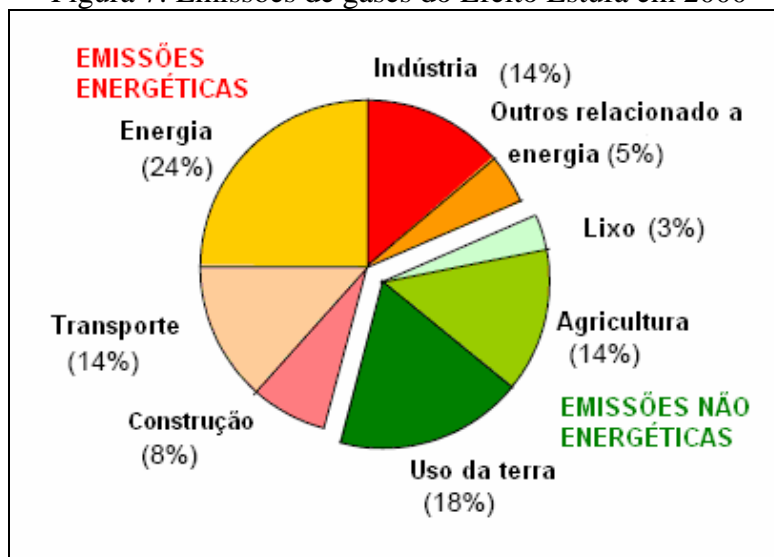
Ano \ Setor	Energia	Indústria	Agricultura	Lixo
1990	80,4	7,4	9,0	3,3
2004	82,8	6,6	7,5	3,1

Fonte: GHG Data 2006 (2006, p.15). Adaptado pela autora.

A expansão do setor de energia, que tem maior participação nas emissões, merece destaque. O Relatório Stern (2006) apresentou a contribuição das emissões por setor produtivo separando as emissões causadas pela produção de energia.

A produção de energia é a principal fonte de emissões e, segundo o *Energy Outlook 2007*, o consumo de combustíveis líquidos derivados de petróleo continuará a representar a maior parcela deste consumo - de 38% em 2008 para 34% em 2030. De acordo com tal relatório, o setor de transporte é responsável por 68% deste consumo projetado para 2030, seguido pelo setor industrial, responsável por 27% deste consumo. A figura 7 abaixo apresenta a participação dos setores nas emissões de gases de efeito estufa.

Figura 7: Emissões de gases do Efeito Estufa em 2000



Fonte: Stern (2006)

O consumo de gás natural, segundo o referido relatório, se elevará em 1,9 % de 2004 a 2030. O gás natural é utilizado para substituir os derivados líquidos de petróleo no setor industrial e na geração de energia em várias partes do mundo. Espera-se uma utilização de 43% de gás natural no setor industrial em 2030. Para a geração de energia o gás natural é mais eficiente e menos intensivo em carbono, o que induzirá a uma mudança de participação no setor de 31% em 2004 para 36% em 2030.

O carvão, uma das maiores fontes de emissão de GEE, segundo o referido relatório, elevará sua participação no consumo mundial de 26%, em 2004, para 28% da matriz mundial, em 2030. A elevação da participação do carvão na matriz energética deve-se à elevação contínua dos preços do petróleo e do gás natural, que tornam o carvão uma fonte economicamente mais atrativa. Esta expansão será maior em países como a China, Índia e EUA devido à ausência de regulação – estes países serão responsáveis por 86% da elevação deste consumo.

A elevação dos preços do petróleo e a necessidade de redução das emissões de GEE, também, impulsionarão a produção de energia nuclear. Contudo, a energia nuclear é defendida por ser pouco emissora. A geração de energia nuclear nos países não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), de acordo com o referido relatório, aumentará sua participação em 4% de 2004 a 2030. Contudo, nos países europeus membros da OECD a participação da energia nuclear deve reduzir.

A participação de hidroeletricidade e de outras fontes renováveis foi projetada pelo referido relatório para elevar-se apenas de 7% para 8% do consumo energético de 2004 a 2030.

Será que apenas a elevação da poluição ambiental parece seguir trajetórias alarmantes? Sabe-se que ao se desenvolverem os países em desenvolvimento irão expandir sua infra-estrutura acarretando num maior consumo energético. Contudo, o padrão de consumo energético atual não é compatível com o desenvolvimento sustentável em relação aos níveis de poluição e à extração de recursos não renováveis. Desta forma, torna-se importante o estudo, a seguir, da evolução do consumo energético em relação à produção econômica dos países.

CAPÍTULO II – INTENSIDADE ENERGÉTICA

II.1 - Conceitos básicos

O índice de intensidade energética (IIE) é representado pela razão entre o consumo total de energia de um país, em unidade de energia, e o PIB da economia, expresso em unidades monetárias. O IIE evidencia o grau de eficiência da utilização energética em relação à riqueza do país, desta forma quanto menor o uso de energia por unidades monetárias, maior a eficiência da economia.

O referido índice não está relacionado apenas a utilização eficiente dos recursos energéticos, ou seja, como minimizar as perdas nos processos de transformação. Existem a dimensão econômica e a ambiental inerentes ao indicador de intensidade energética.

A dimensão econômica, que mede a alocação dos recursos energéticos em relação à produção da economia, está relacionada ao conceito de eficiência econômica ou eficiência de Pareto. O conceito de eficiência de Pareto representa uma situação ótima, onde a alocação dos recursos maximiza o bem-estar dos indivíduos, não existindo alocação que os deixe em melhor situação. Esta dimensão da eficiência ou de produtividade energética tem ganhado importância no plano internacional, em função da ocorrência de custos crescentes, do caráter finito dos recursos energéticos e da presença de externalidades¹² ambientais negativas.

A intensidade energética é afetada diretamente em função de variações no consumo energético, da produção, de mudanças tecnológicas e estruturais. Além de variações econômicas, políticas e de preços relativos, que alteram a utilização dos recursos energéticos e a relação do consumo sobre a produção.

Segundo Pinto Jr. et al.(2007) a variação do consumo final de energia de um país em determinado período de tempo depende: *i*) do crescimento econômico (efeito atividade); *ii*) das mudanças na estrutura do produto (efeito estrutura) e; *iii*) da evolução do conteúdo energético de cada produto (efeito conteúdo).

¹² As externalidades podem ocorrer no consumo (quando o consumo de um agente é influenciado pela produção ou pelo consumo de outro agente) ou na produção (quando as possibilidades de produção de uma firma são influenciadas por escolhas de uma firma ou consumidor). As externalidades são ditas negativas quando tem efeitos negativos sobre o consumo ou a produção do agente, e positivas, caso contrário.

Conforme Motta e Araújo (1988) os três efeitos são explicados da seguinte forma: *i*) efeito atividade: está relacionado a variações no nível de atividade econômica que podem modificar a utilização de equipamentos, com diferentes níveis de eficiência, ou provocar a subutilização da estrutura, em caso de capacidade ociosa; *ii*) efeito estrutura: variações na composição do produto são influenciadas por variações na participação de setores com diferentes intensidades energéticas; *iii*) efeito conteúdo: mudanças no conteúdo energético são decorrentes de diferentes combinações de capital, trabalho e energia, decorrentes de variações nos preços relativos, melhorias técnicas ou de progresso tecnológico.

Para avaliar a relação das variáveis investimento, produção e preço da energia com o índice de intensidade energética Miketa (2001) utilizou dados de 39 países de 1971 a 1996. Segundo este autor, a produção e os preços demonstraram-se direta e indiretamente relacionados, respectivamente, ao índice de intensidade energética. Ou seja, quanto mais desenvolvida a indústria, maior a produção e sua intensidade energética. Em relação ao preço da energia utilizada, quanto mais elevado este preço, menor será a intensidade energética da indústria. Contudo, os resultados relacionados à variável investimento, que em geral não se limita à eficiência energética, foram ambíguos e pouco significativos.

A dotação tecnológica e a disponibilidade de recursos naturais deve continuar a influenciar as diferentes trajetórias do índice de intensidade energética em função da diferença no acesso às novas tecnologias e aos recursos naturais.

A introdução de programas de eficiência energética é motivada tanto pelas elevações de preço de energia quanto pela regulação ambiental. Os preços do barril de petróleo impactam consideravelmente a intensidade energética mundial, em razão da significância dos combustíveis líquidos de petróleo, que representavam 38% do consumo mundial em 2004, conforme *International Energy Agency* (IEA (2007)).

O caráter estratégico e a distribuição desigual das reservas energéticas mundiais vêm influenciando a intervenção estatal através de políticas energéticas, que visam garantir o suprimento energético do Estado. A ação do Estado na construção de infra-estrutura energética, uma atividade intensiva em capital, visa garantir o crescimento econômico sustentável.

O perfil do consumo e da oferta energética vem se modificando após as duas crises do petróleo, em 1973 e em 1979. A alta de preços provocou uma grande alteração nas políticas energéticas, que passaram a privilegiar a segurança do abastecimento e a redução da dependência energética. Políticas que privilegiaram os programas de eficiência energética e a

substituição de derivados de petróleo, após as crises do petróleo, acarretaram em uma redução do ritmo de crescimento da demanda energética.

A partir dos anos 1980, conforme Pinto Jr. et al. (2007), com a redução do ritmo de crescimento da economia, as variáveis PIB e consumo de energia perderam sua relação de forma progressiva. Este fato se contrapôs ao consenso da época de que o consumo energético era função do crescimento econômico e, portanto, deveria acompanhá-lo.

Segundo os referidos autores as políticas energéticas impactam as esferas econômica, ambiental, tecnológica e social dos Estados, o que requer uma interação entre as políticas energéticas e as políticas associadas a esta esfera.

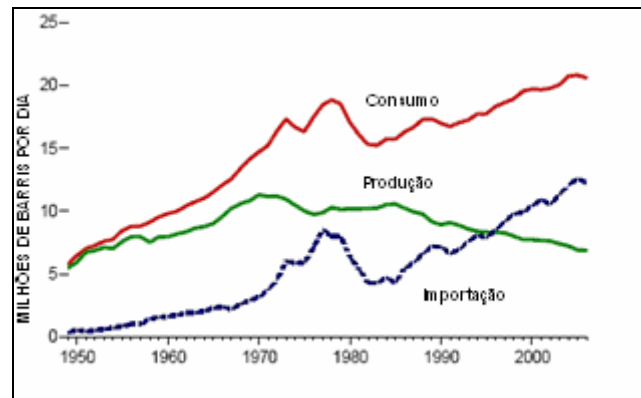
Nas décadas de 1980 e 1990 as políticas energéticas foram subordinadas aos objetivos de outras políticas públicas. Na década de 1980 as políticas públicas, em sua maioria, visavam reduzir a inflação e, depois, em 1990, reduzir os impactos das diversas crises econômicas. A consequência da inconsistência destas políticas energéticas só foi percebida quando começaram a ocorrer racionamentos, apagões e elevações nos preços do petróleo.

A partir de 2005, ainda segundo estes autores, ocorreu uma reorientação das políticas energéticas em função da elevação dos preços de petróleo, controlados pelos países da OPEP, e da percepção dos impactos da queima de combustíveis. As políticas energéticas, preocupando-se em primeiro plano com o abastecimento energético, passaram a buscar a diversificação das fontes de suprimento de petróleo e a ampliação da participação de fontes renováveis. A sustentabilidade ambiental, a eficiência energética, novas tecnologias de produção e uso passaram ao centro das preocupações das novas políticas energéticas.

A matriz energética mundial de 2005, conforme *Energy Information Administration* (EIA) (2005 *apud* Pinto Jr. et al., 2007), apresenta-se 87% dependente de combustíveis fósseis: 39% de petróleo, 24% de gás natural e 24% de carvão. A principal fonte energética até meados do século XX era o carvão, sendo substituído pelo petróleo a partir de então.

Atualmente, a expansão da produção não acompanhou a expansão do consumo mundial de petróleo, o que reduziu os estoques e aumentou a vulnerabilidade nacional. A figura 8 a seguir mostra a evolução do consumo, da produção e da importação de petróleo.

Figura 8: Evolução do consumo, produção e importação de petróleo



Fonte: Annual Energy Review 2006 – EIA

Em relação à elevação da importação de petróleo, não existe consenso entre a literatura, para alguns autores, esta elevação pode ameaçar a segurança nacional; para outros, a vulnerabilidade aumenta com o aumento da importação, apenas, se oriunda de áreas politicamente instáveis.

As políticas energéticas adotadas pelas diferentes regiões tiveram impacto diferenciado na atividade econômica de cada país. Conforme Miketa (2001), os países desenvolvidos possuem menor intensidade energética que os países em desenvolvimento. Os países em desenvolvimento tendem a elevar a intensidade energética devido à adição de capacidade produtiva. Segundo o referido autor, os dados empíricos dos países em desenvolvimento demonstram uma elevação do indicador de intensidade energética, enquanto os países desenvolvidos apresentam este indicador mais estável no curto prazo.

A análise a seguir descreve a tendência geral dos países em desenvolvimento e dos países desenvolvidos, apesar de reconhecer-se que a evolução do índice de intensidade energética depende de características intrínsecas a cada economia. O período analisado de 1980 a 2005, sofreu influências de crises econômicas, variações no preço do petróleo e de políticas energéticas, que devem ser consideradas nas análises a seguir.

II.2 Padrão de evolução da intensidade energética nos países desenvolvidos

Os países industrializados basicamente estabilizaram seu consumo de energia a partir de 1980 devido à adoção de medidas após as crises de petróleo dos anos 1970. Existem evidências de que, nas duas últimas décadas, a intensidade energética das nações industrializadas vem diminuindo em torno de 2% a.a., ou seja, elas estão se tornando

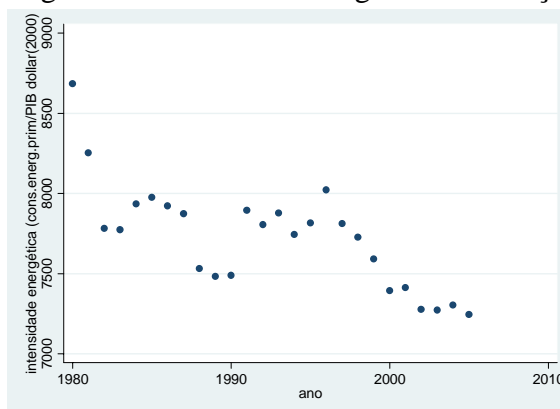
energeticamente mais eficientes (GOLDEMBERG, 1996). Ao contrário do que se acreditava no passado, o consumo energético não cresceu paralelamente ao PIB.

Para Goldemberg (1996) a dissociação da variável PIB com o consumo energético nos países desenvolvidos originou-se das melhorias na eficiência energética decorrentes da adoção de melhores técnicas e de mudanças estruturais na economia.

Este trabalho relaciona três casos de países desenvolvidos, que serão examinados com mais detalhes. Os dados a seguir do *Energy Information Administration* de 1980 a 2005 para França, Alemanha e Reino Unido ilustram a tendência destes países. As figuras abaixo demonstram uma tendência declinante do índice intensidade energética no período. Contudo, variações no consumo, no PIB, nos preços do petróleo, nas estruturas e nas políticas governamentais influenciaram de forma distinta a trajetória deste índice em cada país.

A França é o primeiro caso de país desenvolvido apresentado a seguir na figura 9.

Figura 9: Intensidade Energética na França



Fonte: Dados EIA

A matriz energética da França é considerada limpa com 39% de energia nuclear, 36% de petróleo, 16% de gás natural e 5% de hidroeletricidade (EIA, 2004). Segundo o *International Energy Agency* (2004) a França possui políticas energéticas consistentes e lideradas fortemente pelo governo. Os consumidores podem usufruir de baixos preços de energia, segurança no suprimento e baixos níveis de emissão de CO₂ por PIB.

Os objetivos de políticas energéticas do país visam, entre outras coisas, à expansão da produção interna de energia, um aumento da participação da energia nuclear, aumento da capacidade de refino do país, além da preocupação com a redução do IIE.

A política energética do país é caracterizada por ter um forte envolvimento do governo. No pico da produção de petróleo do país, no fim dos anos 1980, o governo

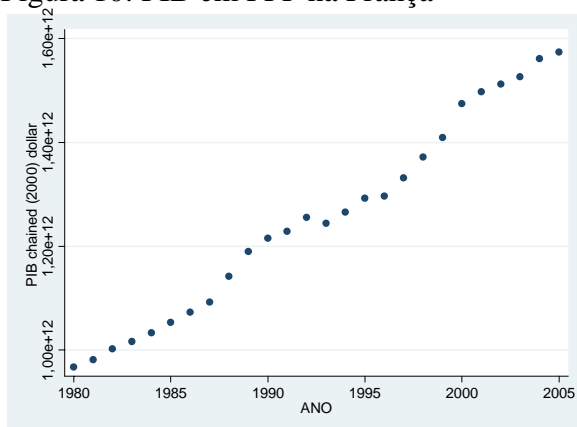
encorajou a energia nuclear. O incentivo governamental reduziu a dependência de petróleo de 71% em 1973 para 36% em 2004. Atualmente, a França é o segundo maior produtor de energia nuclear, atrás apenas dos Estados Unidos. A produção de energia nuclear do país é eficiente e de baixo custo. A produção de eletricidade é 79% baseada na energia nuclear e possui as menores tarifas da Europa.

A grande redução na intensidade energética no início dos anos 1980 e seu súbito posterior aumento originou-se por variações no consumo de energia primária (figura 13), resultantes de variações na composição da produção de energia e das políticas energéticas.

Nos fim dos anos 1980 a redução da taxa de crescimento do consumo energético em relação a uma maior taxa de crescimento do PIB, provocou uma queda do IIE de forma mais acentuada.

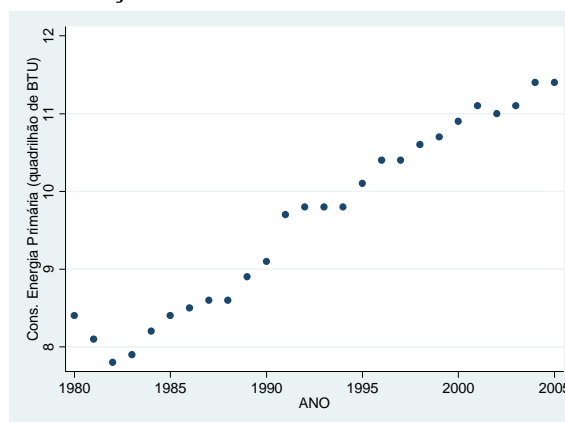
As figuras 10 e 11 abaixo ilustram a evolução da variável PIB em paridade do poder de compra (PPP) e do consumo de energia primária.

Figura 10: PIB em PPP na França



Fonte: Dados EIA

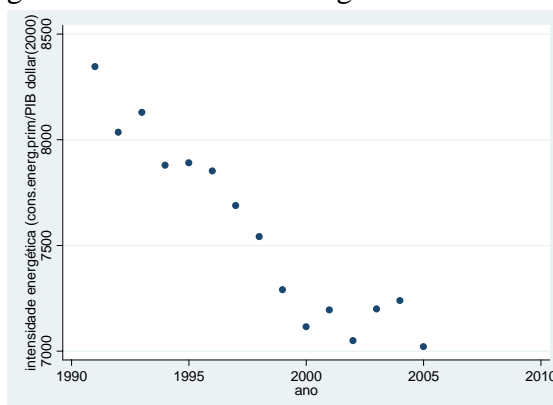
Figura 11: Consumo de Energia Primária na França



Fonte: Dados EIA

O segundo caso de país desenvolvido será ilustrado pela Alemanha após a reunificação de 1990 a 2005. A figura 12 a seguir apresenta a evolução da intensidade energética neste país.

Figura 12: Intensidade Energética na Alemanha



Fonte: Dados EIA

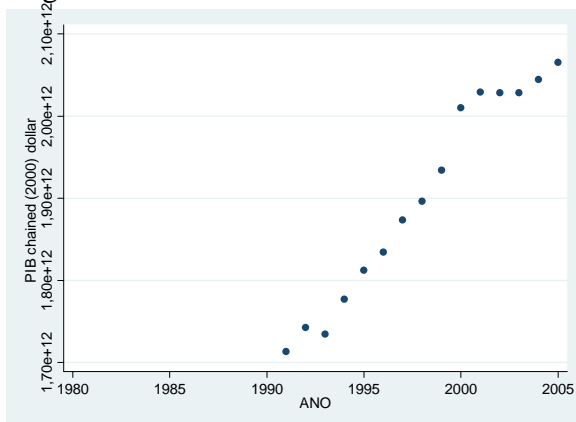
A Alemanha, que possui um dos maiores PIB mundiais, em 2004, segundo EIA (2004), foi o quinto maior consumidor de energia mundial. Este país possui uma posição estratégica vital para Europa, o que torna necessário a execução de uma sólida política energética. Segundo o IEA (2007) a política energética alemã vem se comprometendo desde 2002 com segurança energética, sustentabilidade ambiental e eficiência energética.

Os objetivos de políticas energéticas, entre outros, visam à diversificação das políticas energéticas, ao estímulo à energia renovável, ao apoio à liberalização dos mercados europeus, à diversificação da importação de gás, além do aumento da eficiência energética.

O país não possui muitas reservas de hidrocarbonetos, exceto carvão, e importa grande parte de seu consumo. A falta de hidrocarboneto e os incentivos de política energética fizeram com que o país se tornasse líder em energias renováveis como os biocombustíveis e a energia eólica. No mercado de energia elétrica e de gás natural o governo adotou medidas que visam introduzir competição para alcançar eficiência econômica.

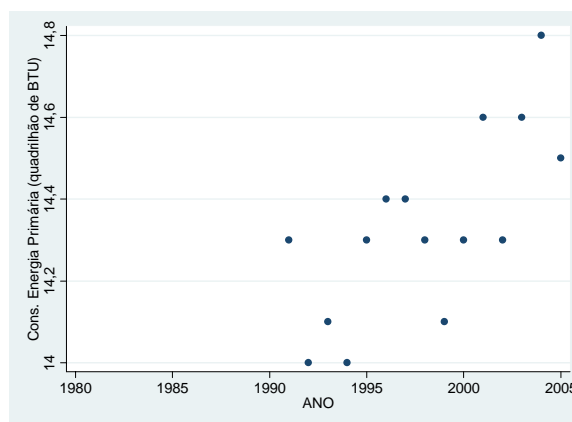
Na análise das figuras 13 e 14 abaixo se verifica uma maior elevação da taxa de crescimento do PIB do que a elevação da taxa de crescimento do consumo energético, o que explica a tendência declinante do IIE.

Figura 13: PIB em PPP na Alemanha



Fonte: Dados EIA

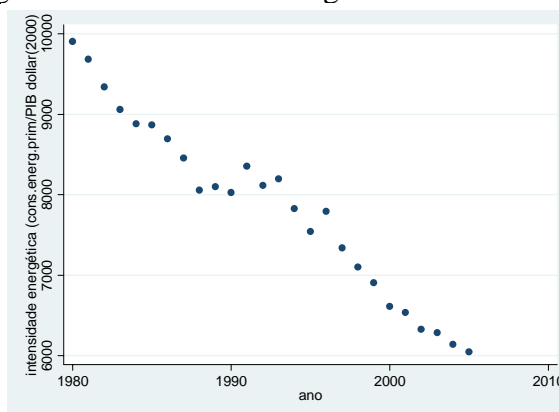
Figura 14: Consumo de Energia Primária na Alemanha



Fonte: Dados EIA

O terceiro caso de país desenvolvido será ilustrado pelo Reino Unido. A figura 12 a seguir apresenta a evolução da intensidade energética neste país de 1980 a 2005.

Figura 15: Intensidade Energética no Reino Unido



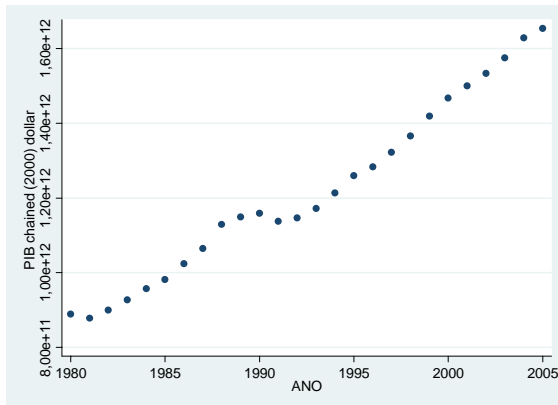
Fonte: Dados EIA

O Reino Unido é a segunda maior economia da União Européia e o maior produtor de petróleo e gás natural da Europa. Na década de 1990, ocorreu o pico da produção de petróleo e gás natural do país, o que acarreta em uma redução contínua destas produções. Em 2004, o país deixou de ser exportador de gás natural e passou a importá-lo e, segundo o EIA (2004), até o final desta década o país deverá se tornar importador de petróleo.

Em resposta, o governo iniciou programas que visam: aumentar a produção de campos marginais de petróleo através do ganho de eficiência; aumentar a infra-estrutura necessária à importação e; investimentos em conservação de energia e em fontes renováveis. O governo inglês foi o pioneiro na liberalização dos mercados de eletricidade e de gás, além de possuir um sistema de regulação de excelência.

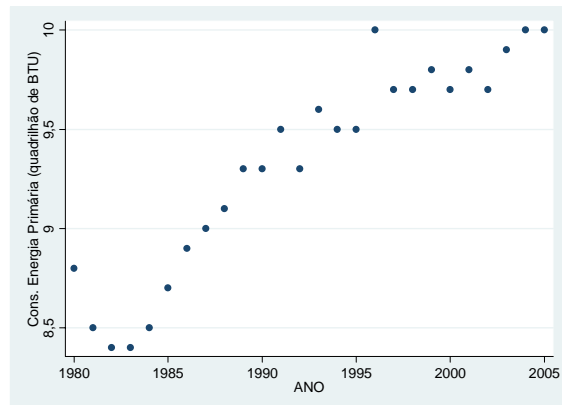
As figuras 16 e 17 abaixo apresentam a trajetória do PIB em PPP e do consumo de energia primária que são direta e inversamente relacionados com o IIE e explicam a tendência declinante desta variável.

Figura 16: PIB em PPP no Reino Unido



Fonte: Dados EIA

Figura 17: Consumo de Energia Primária no Reino Unido



Fonte: Dados EIA

Nos três países utilizados para ilustrar a tendência dos países desenvolvidos percebe-se a tendência declinante do índice de intensidade energética. A melhora de eficiência energética nestes países deve-se às medidas de política energética, que visam aumentar a eficiência do consumo energético, reduzir desgastes e aumentar a eficiência econômica deste consumo.

II.3 Padrão de evolução da intensidade energética nos países em desenvolvimento

Nos países em desenvolvimento a intensidade energética, em geral, tende a aumentar em função da necessidade de elevação da capacidade instalada. Como estas nações estão em estágios mais incipientes de desenvolvimento e ainda possuem um consumo de energia per capita muito pequeno, é inevitável o crescimento do consumo de energia devido à necessidade de se construir infra-estrutura industrial, de transporte e de desenvolvimento urbano.

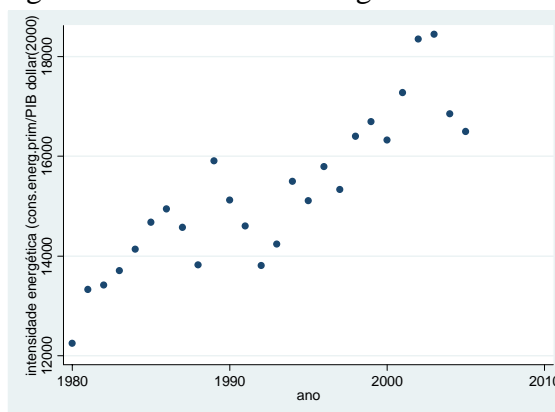
O elevado crescimento populacional nestes países torna-se preocupante em função da necessidade de elevação do consumo de energia per capita. A elevação da intensidade energética nestes países agrava o cenário atual que apresenta reservas energéticas cada vez mais escassas e risco de desabastecimento futuro.

A inconsistência das políticas energéticas na década de 1980 e 1990, sobrepostas pelos objetivos das políticas públicas e as variações nos preços do petróleo influenciaram de forma distinta os países em desenvolvimento. A tendência destes países será ilustrada a seguir com

dois casos de países que estão entre os maiores consumidores de energia primária da América Latina. Os casos apresentados, a Argentina e a Venezuela, baseiam-se em dados do *Energy Information Administration* destes países no período de 1980 a 2005.

O primeiro caso apresentado será a Venezuela que é o sexto maior exportador mundial de petróleo bruto e o maior do Ocidente. A figura 18 abaixo ilustra a evolução da intensidade energética deste país de 1980 a 2005.

Figura 18: Intensidade Energética Venezuela



Fonte: Dados EIA

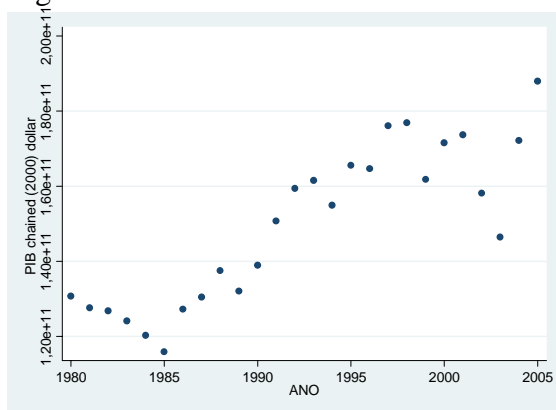
O setor de petróleo no país, segundo o EIA, tem importância central na economia venezuelana, pois representa cerca de um terço do PIB do país – o que demonstra a importância dos preços do petróleo para o PIB venezuelano. O país apresenta, também, um grande potencial hidroelétrico, que representa 24% do consumo, complementado por 38% de gás natural e 38% de petróleo. A geração de eletricidade no país, considerada bastante limpa, é 75% sustentada por seu potencial hidroelétrico.

Nos anos 1980 e 1990, a Venezuela passou por grave crise econômica. A crise do país agravou-se para o campo político, onde ocorreram várias tentativas de golpes para depor o presidente, que culminaram em um impeachment. Em 1998 Chávez foi eleito presidente da Venezuela e reeleito em 2000, após modificar a Constituição. No seu governo foram adotadas algumas medidas relacionadas ao setor de petróleo como: a elevação dos royalties de petróleo e a concessão de áreas de exploração para empresas privadas pela Petróleos de Venezuela S. A. (PDVSA).

A trajetória crescente do IIE venezuelano foi influenciada por diversas crises econômicas, políticas e por variações nos preços do petróleo. A análise das figuras 19 a 20 de

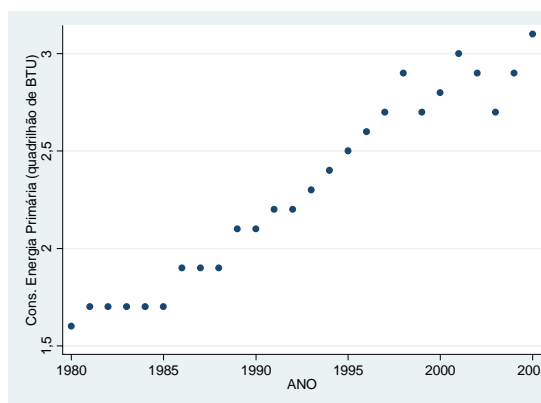
PIB em PPP e do consumo de energia primária permite a visualização destas influências no IIE.

Figura 19: PIB em PPP na Venezuela



Fonte: Dados EIA

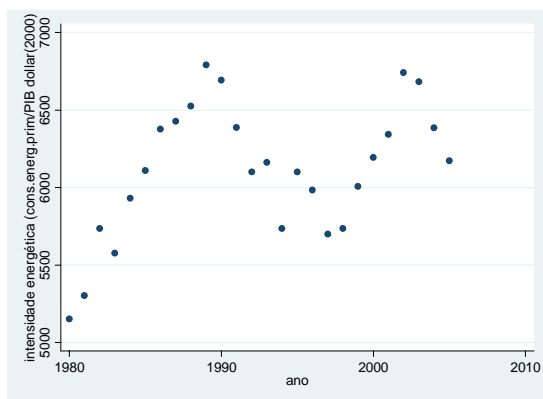
Figura 20: Consumo de Energia Primária na Venezuela



Fonte: Dados EIA

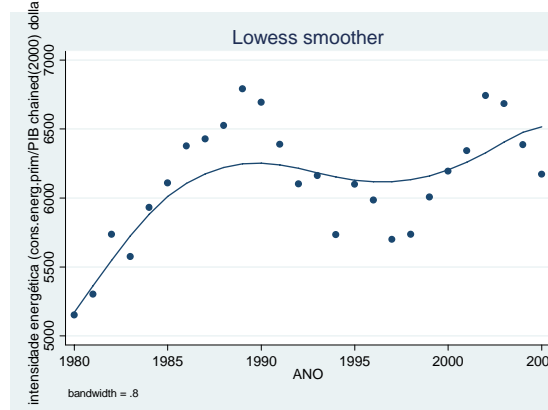
O segundo caso de país em desenvolvimento será representado por dados da Argentina. A seguir as figuras 21 e 22 apresentam dados de intensidade energética do *Energy Information Administration* de 1980 a 2005 para este país.

Figura 21: Intensidade Energética Argentina



Fonte: Dados EIA

Figura 22: Intensidade Energética Argentina



Fonte: Dados EIA

A Argentina, que está entre as maiores economias da América do Sul, obteve um crescimento de 8,4 % em 2006 e de 7,9% em 2007. Esta alta taxa de crescimento induziu a elevação da demanda de energia, especialmente a de gás natural. O aumento da demanda e a estagnação da produção de petróleo e gás vêm provocando esporádicas crises de energia na economia.

O IIE argentino de 1980 a 2005 apresenta uma tendência crescente mais facilmente visualizada na figura 22. As variações na tendência do índice de intensidade energética argentino devem ser analisadas com base na crise enfrentada pela economia durante duas décadas.

Na década de 1980, a economia argentina sofreu uma hiperinflação que fez com que o PIB ficasse estagnado. Como nesse período o consumo de energia primária elevou-se, a intensidade energética seguiu uma trajetória crescente.

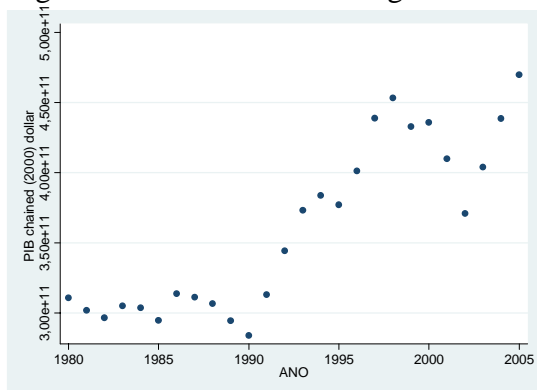
Em 1989, o presidente Menem fixou o peso ao dólar visando reduzir a inflação. No início do plano a economia reagiu devido à redução das incertezas para os investidores estrangeiros. No entanto, em 1995, a economia foi influenciada pela crise do México, posteriormente, em 1997 pela crise dos tigres asiáticos, em 1999 pela crise Russa e pela desvalorização do Real no Brasil. De 1989 a 1998 a taxa de crescimento do PIB se sobrepôs à taxa de crescimento do consumo, fazendo com que a intensidade energética se reduzisse.

Contudo, a desvalorização da moeda dos países vizinhos, somada à paridade da moeda argentina ao dólar, prejudicou as exportações tendo reflexos perversos à balança comercial. Em 2000 e 2001, o país pediu empréstimo para o Fundo Monetário Internacional (FMI) para saldar suas dívidas. Nesse período a trajetória declinante do PIB influenciou negativamente a intensidade do país que voltou a aumentar.

Em 2002, diante da dificuldade de controle da economia argentina o governo acabou com a paridade da moeda com o dólar. Com a recuperação da economia em 2003 o PIB voltou a elevar-se revertendo novamente a tendência do IIE.

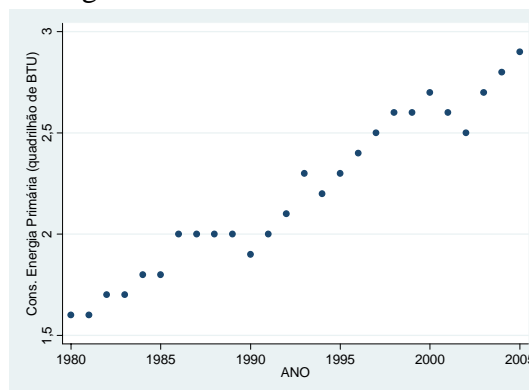
Apesar de o consumo energético ter sido prejudicado em determinados períodos, em função de crises econômicas, a taxa de crescimento do consumo manteve uma trajetória mais regular que a taxa de crescimento do PIB, que influenciou mais efetivamente na direção do IIE. A análise a seguir das figuras 23 e 24 de PIB em PPP e do consumo de energia primária permite a visualização destas influências no IIE.

Figura 23: PIB em PPP na Argentina



Fonte: Dados EIA

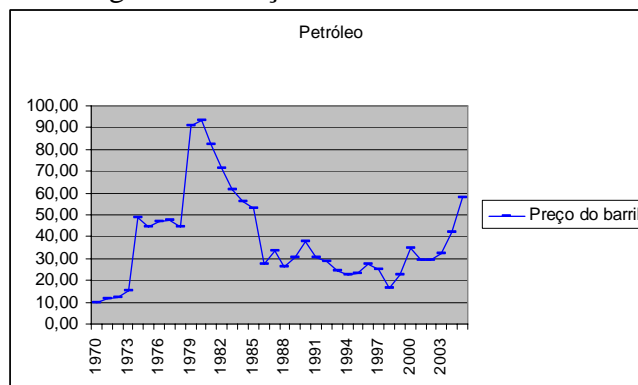
Figura 24: Consumo de Energia Primária na Argentina



Fonte: Dados EIA

As economias da Venezuela e da Argentina, exportadoras de petróleo, também foram negativamente influenciadas pelo contra-choque de petróleo, que reduziu suas rendas oriundas da exportação deste produto. A figura 25 abaixo mostra a variação dos preços do petróleo, segundo dados do BP Statistics 2008.

Figura 25: Preços do barril de Petróleo



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BP Statistics (2008)

Os países em desenvolvimento têm grande potencial para saltos qualitativos através da introdução de inovações, especialmente nas indústrias de materiais básicos de alta intensidade energética (aço, produtos químicos, cimento).

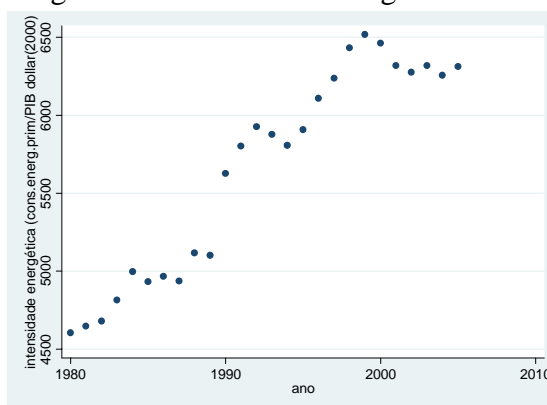
O uso extensivo de melhores tecnologias deve ser incorporado logo no início do processo de desenvolvimento e não como adequação retroativa, como ocorreu nos países industrializados. Segundo Goldemberg (1996), caso fossem utilizadas as modernas técnicas empregadas atualmente nos países da Europa Ocidental na expansão da infra-estrutura necessária a toda a população dos países em desenvolvimento; o consumo de energia se

manteria constante. Ou seja, o emprego maciço de tecnologia moderna poderia estabilizar o consumo de energia em países em desenvolvimento.

II.4 Evolução da Intensidade Energética no Brasil

O Brasil, como os países em desenvolvimento, está aumentando a infra-estrutura sem preocupar-se com eficiência energética, o que explica em parte a elevação do índice de intensidade energética nestes países. A seguir a figura 26 apresenta a trajetória da intensidade energética no Brasil utilizando dados do *Energy Information Administration* de 1980 a 2005.

Figura 26: Intensidade Energética Brasil

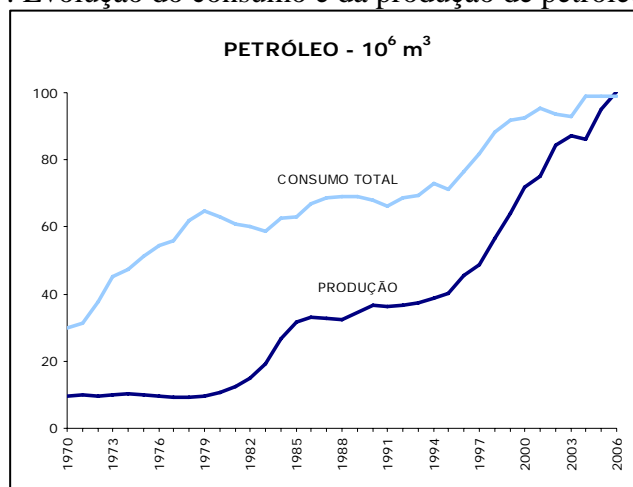


Fonte: Dados EIA

O Brasil possui uma matriz energética limpa, pouco dependente de combustíveis fósseis (apenas 55%) se comparada a matriz energética mundial (87%). Outra vantagem da matriz energética brasileira é possuir maior participação de energia hidráulica e de biomassa do que a média mundial. (EIA, 2007)

Conforme dados do EIA, o Brasil é o décimo consumidor mundial de energia e o terceiro dentre os países ocidentais, atrás apenas dos Estados Unidos e do Canadá. Desde meados da década de 1980 o país vem aumentando significativamente seu consumo de energia primária. Este aumento foi sustentado pela elevação da produção de petróleo, que tem sido alvo de políticas governamentais expansionistas, o que se pode verificar na figura 27 abaixo.

Figura 27: Evolução do consumo e da produção de petróleo brasileira



Fonte: BEN (2007) – dados 2006

O modelo de monopólio estatal, construído no âmbito de políticas de substituição de importação, permitiu que a indústria petrolífera do país se desenvolvesse protegida da competição internacional. Na década de 1970 a expansão das atividades da Petrobras alimentou o crescimento acelerado da economia brasileira. Para introduzir competição no setor e criar um novo padrão de organização industrial a reforma petrolífera de 1997 abriu o acesso de terceiros ao transporte e armazenagem da estatal. A União manteve a titularidade sobre as reservas de hidrocarbonetos, e a Petrobras manteve o status de empresa mista com participação majoritária da União.

Em 1998, ocorreu o primeiro leilão de blocos de exploração que garantiriam o direito a exploração. No entanto, a Petrobras arrematou a maioria dos blocos e ainda permaneceu na liderança da exploração de hidrocarbonetos. Em 2001 uma nova lei estabeleceu as normas para a abertura plena da indústria, o que pode permitir a melhoria do indicador R/P¹³, atualmente no patamar de 19 anos. Apesar do desenvolvimento bem sucedido da petrolífera estatal este desenvolvimento foi um caso a parte nas políticas energéticas do país (PINTO JR. et al., 2007).

A política energética brasileira após o primeiro choque de petróleo buscava a redução da dependência e da vulnerabilidade energética. Em 1974, o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND) dirigiu investimentos ao setor energético, que visavam reduzir a dependência externa. O plano direcionou investimentos à pesquisa no setor de petróleo, à ampliação da capacidade de geração hidroelétrica e ao desenvolvimento de fontes de energia

¹³ O indicador R/P relaciona as reservas de petróleo com a produção, resultando no número de anos que estas reservas durariam a este nível de produção.

alternativas aos derivados de petróleo, com ênfase no álcool combustível (GIAMBIAGI, VILELLA, CASTRO, HERMAN et al., 2004).

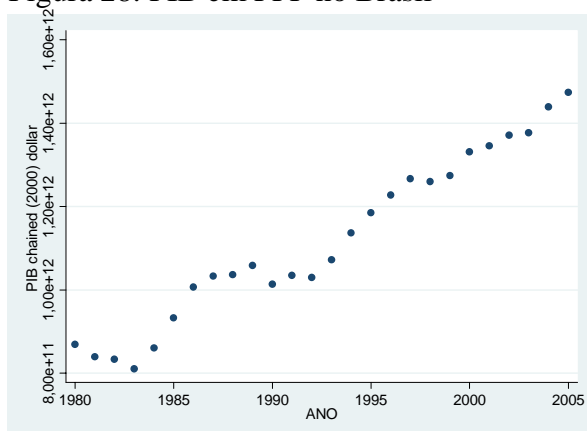
A grande disponibilidade de recursos fósseis e renováveis, segundo Pinto Jr. et al. (2007), garantiu ao país, na época, uma posição bastante confortável em relação aos demais países. Nas duas últimas décadas do século XX o país contava com a infra-estrutura energética que havia se expandido de forma vigorosa nos anos anteriores. Essa posição confortável em relação ao suprimento energético possibilitou ao país negligenciar as políticas energéticas, que foram sobrepostas por políticas de ajustamento econômico.

Na década de 1980, que ficou conhecida como a "década perdida", o governo brasileiro desenvolveu vários planos econômicos que visavam o controle da inflação, sem nenhum sucesso. Em 1987 o país não pode pagar os seus credores e decretou moratória, o que resultou em graves problemas econômicos que perduraram por anos.

Na década de 1990 ocorreu uma grande mudança no modelo econômico vigente. De 1991 a 1994 a abertura e as privatizações de empresas estatais introduziram competição e modernização no setor privado. O cenário de inflação alta começou a mudar após a introdução do Plano Real em 1994, que conseguiu finalmente estabilizar a inflação. Contudo, o modelo atual de controle da inflação, através de altas taxas de juros, sacrificou investimentos e o crescimento do país, além de fortalecer as instituições financeiras.

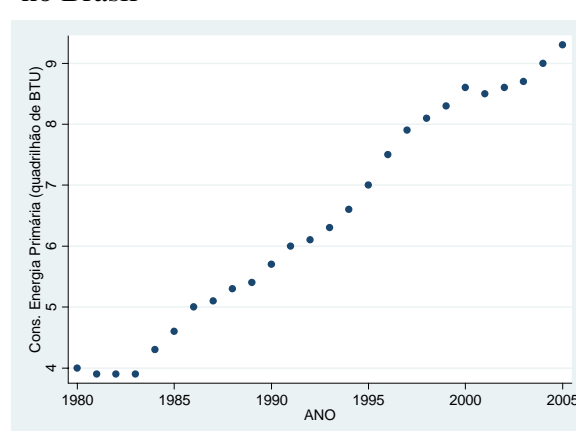
As figuras 28 e 29 abaixo mostram a trajetória do PIB em PPP e do consumo de energia primária de 1980 a 2005 segundo dados do EIA.

Figura 28: PIB em PPP no Brasil



Fonte: Dados EIA

Figura 29: Consumo de Energia Primária no Brasil

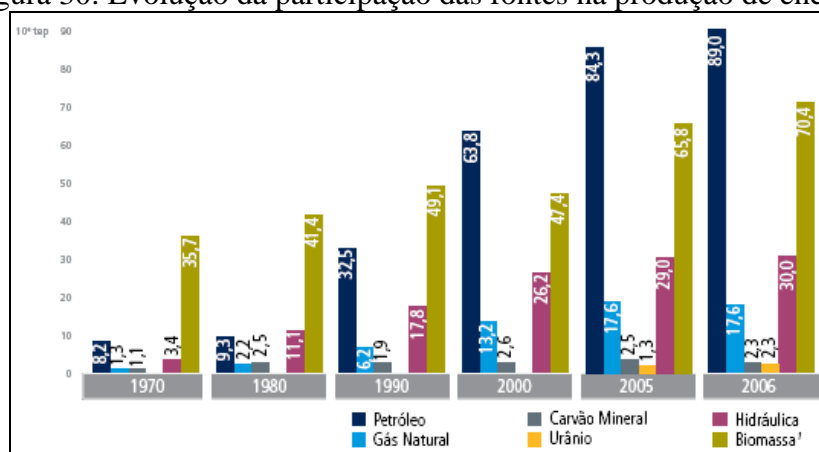


Fonte: Dados EIA

A necessidade de diversificação e as limitações em relação a uma grande expansão da geração elétrica baseada em recursos hídricos vêm impulsionando a expansão de termelétricas movidas a gás¹⁴. Contudo, a médio e longo prazo, devido à probabilidade de exaustão dos combustíveis fósseis essa trajetória deverá ser modificada.

Apesar do gás natural ainda ocupar uma parcela pequena da produção de energia, a necessidade de diversificação da geração de energia após a crise de 2001 fez com que a participação de termelétricas à gás aumentasse. A figura 30 abaixo apresenta a evolução das fontes na produção de energia.

Figura 30: Evolução da participação das fontes na produção de energia



Fonte: BEN (2007) – dados 2006

A introdução vigorosa de gás natural no Brasil tanto no uso direto como na geração termelétrica não foi uma política planejada. A distribuição de gás natural é uma atividade que requer altos investimentos prévios de longa maturação, o que não ocorreu no Brasil. Apenas após crises de abastecimento e geopolíticas, o governo brasileiro preocupou-se com a introdução de um novo modelo para incentivar a construção da infra-estrutura necessária. Contudo, estes investimentos são de longa maturação, o que deixa o país vulnerável no curto prazo (ibid, 2007).

Finalmente em 2007 – após: *i*) restrições de consumo em 2001 e 2002, *ii*) a questão do abastecimento de gás, *iii*) a elevação contínua dos preços do petróleo e; *iv*) acirramento das questões ambientais - o governo preocupou-se em estruturar e sistematizar o planejamento energético do país no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030).

¹⁴ Para uma análise detalhada das reformas vide Pinto Jr. et al. (2007).

II.5 Cenários Prospectivos da Estrutura de Oferta e Demanda

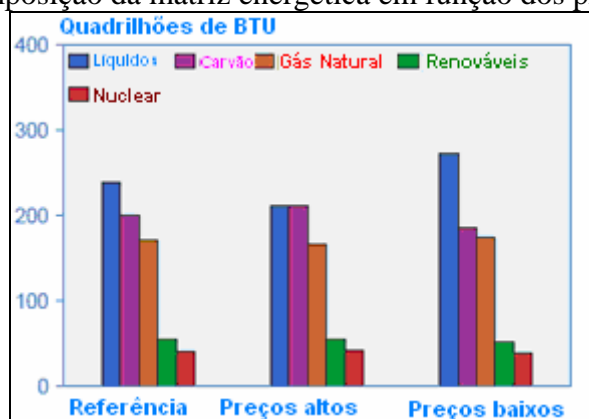
Segundo o *International Energy Outlook 2007*, o consumo de energia mundial crescerá 57 % de 2004 a 2030. A maior elevação da demanda será nos países que não integram a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD). Estes países, em geral, têm maiores taxas de crescimento econômico e populacional. A previsão de crescimento anual do consumo de energia de 2004 a 2030 nos países OECD é de apenas 0,8% a.a., enquanto o crescimento previsto nos demais países é de cerca de 2,6% a.a..

Um dos fatores que mais influencia a demanda de energia é o crescimento econômico. O *International Energy Outlook 2007* projeta um crescimento real do PIB mundial de 4,1% a.a. de 2004 a 2030. Onde 2,3% a.a. referem-se aos países Europeus membros da OECD, 4,3% a.a. aos países não membros da OECD na Europa e na Ásia (sendo 5,8% a.a. para a China e 5,7% a.a. para a Índia), 6% a.a. à América Central e à América do Sul, 5 % a.a. ao Oriente Médio e 4,9% a.a. à África.

Segundo o Departamento Americano de Energia, os cenários podem se modificar em função de variações no crescimento econômico, no preço do petróleo ou de variações na intensidade energética. Sendo as variações na intensidade energética as maiores fontes de incerteza destas projeções.

As projeções de consumo energético, segundo *International Energy Outlook 2007*, devem variar em função da evolução dos preços do petróleo, conforme a figura 31 abaixo.

Figura 31: Composição da matriz energética em função dos preços do petróleo

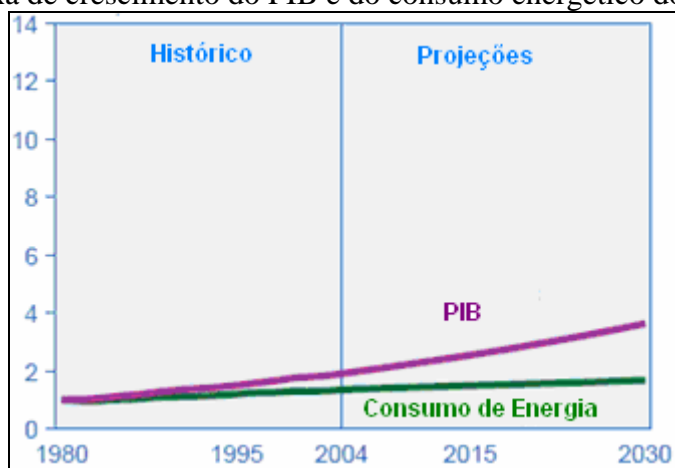


Fonte: *International Energy Outlook 2007*

Na maioria das regiões, crescimento econômico e consumo energético estão diretamente relacionados. No entanto, os países OECD mostram pouca relação entre estas

variáveis, pois, em geral, apresentam uma taxa de elevação do consumo energético menor que a taxa de crescimento econômico. A figura 32 abaixo mostra a projeção, segundo o *International Energy Outlook 2007*, para estes países até 2030.

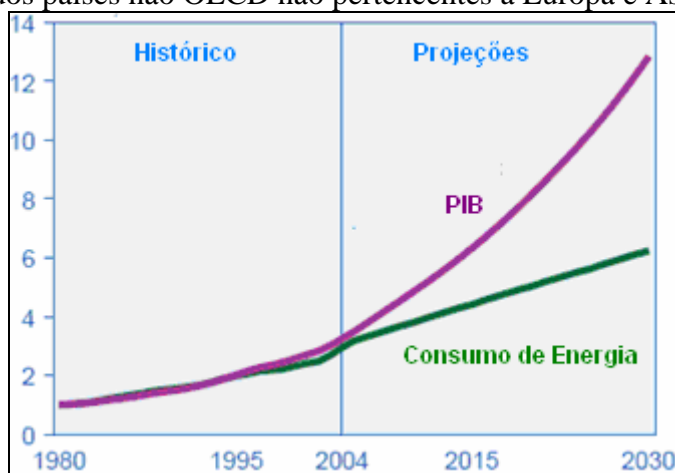
Figura 32: Taxa de crescimento do PIB e do consumo energético dos países OECD



Fonte: *International Energy Outlook 2007*

Na maioria dos países não membros da OECD, excluindo os pertencentes a Europa e Ásia, o crescimento econômico e o consumo energético estiveram mais fortemente relacionados. E apenas recentemente, como podemos verificar na figura 33 abaixo, o crescimento econômico começou a se destacar.

Figura 33: Taxa de crescimento do PIB e do consumo energético dos países não OECD não pertencentes a Europa e Ásia

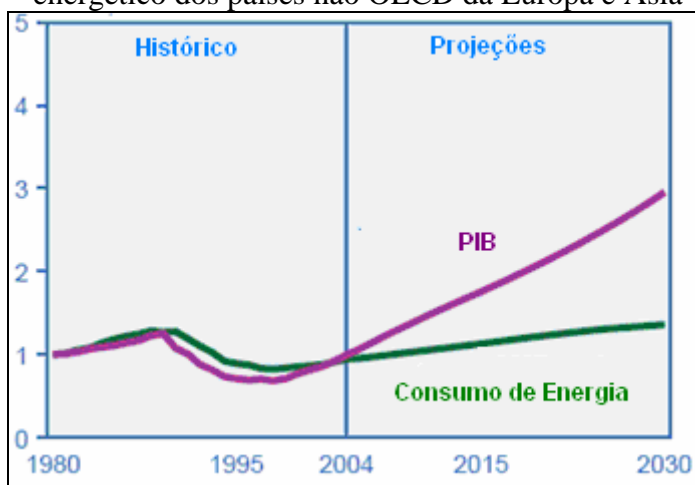


Fonte: *International Energy Outlook 2007*

Historicamente, os países não membros da OECD na Europa e na Ásia tiveram elevados níveis de intensidade energética. Nestes países o consumo energético cresceu mais

rapidamente até os anos 1990, quando o colapso da União Soviética fez com que o PIB e o consumo energético declinassem. O declínio do PIB ocorreu de forma mais rápida, após este período, porém, com a recuperação do setor industrial, o crescimento tende a se destacar novamente, conforme figura 34 abaixo.

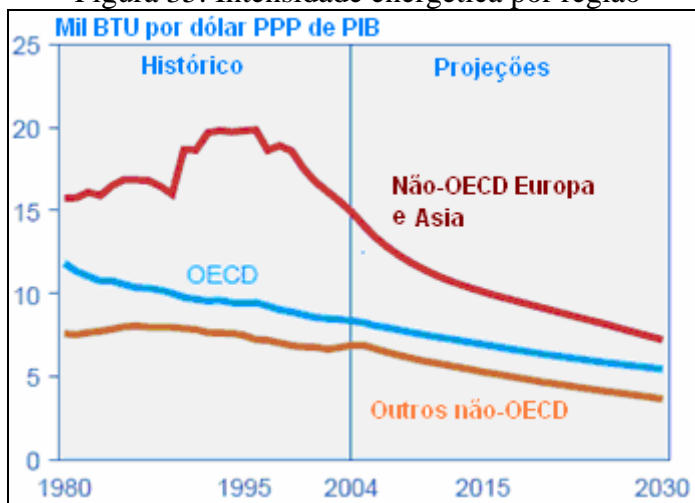
Figura 34: Taxa de crescimento do PIB e do consumo energético dos países não OECD da Europa e Ásia



Fonte: *International Energy Outlook 2007*

No caso de referência do *International Energy Outlook 2007* a intensidade energética tende a declinar nos países não membros da OECD da Europa e da Ásia, embora ainda continue mais elevada que no resto do mundo. A figura 35 abaixo ilustra estas projeções para os países membros da OECD, para os não membros da OECD da Europa e da Ásia e para os demais países não membros da OECD.

Figura 35: Intensidade energética por região



Fonte: *International Energy Outlook 2007*

O estágio de desenvolvimento econômico e os padrões de vida de cada região estão relacionados ao crescimento econômico e à demanda energética. Economias avançadas possuem padrões de vida elevados, com altos níveis de consumo energético per capita, contudo, estes níveis permanecem relativamente estáveis ou modificam-se muito lentamente.

Os países membros da OECD apresentam uma maior difusão de modernos equipamentos e meios de transporte pessoal. Nestes países os gastos relacionados ao consumo de novos equipamentos, que utilizam energia, na maioria das vezes, estão relacionados à substituição de antigos equipamentos. Como os novos equipamentos costumam ser mais eficientes energeticamente a renda e a demanda energética têm uma fraca relação nestes países. De acordo com o *International Energy Outlook 2007* a intensidade energética mundial deve declinar a taxa de 2,1% a.a. a 2,3% a.a. de 2004 a 2030, dependendo do padrão de crescimento econômico ser mais lento ou mais rápido.

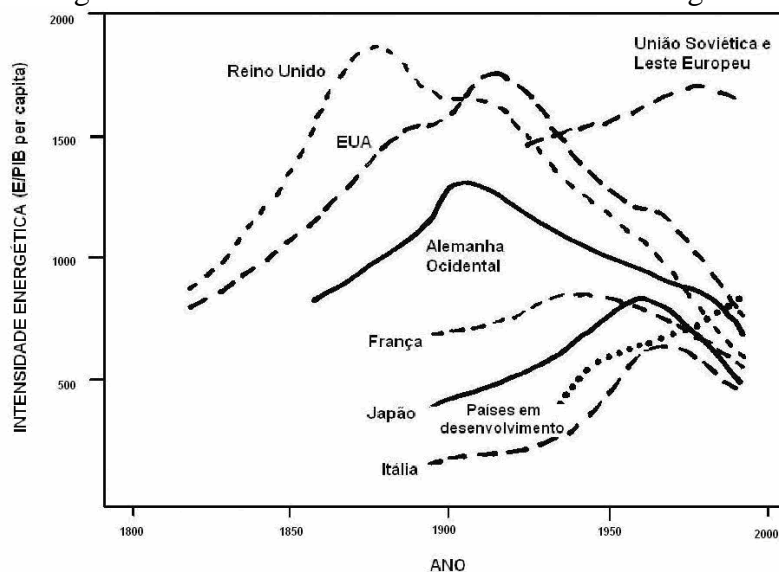
De acordo com esta visão rápidas taxas de crescimento mundiais seriam acompanhadas por melhoras na intensidade energética, o que seria compatível com o desenvolvimento sustentável. O capítulo seguinte irá analisar se a evolução das emissões oriundas da produção de energia está diretamente relacionada com o índice de intensidade energética.

CAPÍTULO III - EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA VERSUS EMISSÕES DE CO₂

III.1 Evolução Histórica

O índice de intensidade energética, que relaciona o consumo de energia sobre o PIB, tende a aumentar no início da industrialização e a reduzir-se, posteriormente, com a elevação da renda. A figura 36 abaixo apresenta o exemplo de Sun (1999) do desenvolvimento histórico de diversas economias.

Figura 36: Contexto histórico da Intensidade Energética



Fonte: Colombo (1992 *apud* Sun, 1999)

No início do desenvolvimento a participação de indústrias pesadas é maior do que após o pico de intensidade energética, onde esta participação se reduz, dando lugar à participação de indústrias limpas baseadas no conhecimento. O pico de intensidade energética revela o mesmo formato de “U-invertido” da Curva Ambiental de Kuznets para CO₂. Segundo Sun (1999) o pico do IIE também pode ser observado em função da evolução da renda per capita, que, em geral, sempre aumenta.

Segundo os princípios da Curva Ambiental de Kuznets os países em desenvolvimento, ainda em estágios incipientes de desenvolvimento, localizam-se no lado esquerdo da curva, onde os níveis de intensidade energética e de emissão de CO₂ são crescentes. Enquanto os países desenvolvidos já teriam ultrapassado o pico de intensidade energética, localizando-se no lado direito da curva, onde os níveis de intensidade energética e de emissão de CO₂ possuem uma tendência decrescente.

A elevação do consumo de energia no início do desenvolvimento econômico está fortemente relacionado à produção de poluentes como o CO₂. As variáveis que influenciam nas emissões de CO₂ são mais facilmente visualizadas na expressão abaixo, que relaciona as variáveis população, PIB e consumo de energia com a variável CO₂. A expressão a seguir é uma decomposição dos efeitos das referidas variáveis que permite a visualização da influência de cada variável nas emissões de CO₂.

$$CO_2 = POPULAÇÃO * \frac{PIB}{POPULAÇÃO} * \frac{CONSUMO_ENERGIA}{PIB} * \frac{CO_2}{CONSUMO_ENERGIA}$$

Esta expressão pode ser simplificada cortando-se a variável população.

$$CO_2 = PIB * \frac{CONSUMO_ENERGIA}{PIB} * \frac{CO_2}{CONSUMO_ENERGIA}$$

Reescrevendo a função obtemos o valor da Intensidade de Emissão de CO₂ ($\frac{CO_2}{PIB}$):

$$\frac{CO_2}{PIB} = \frac{CONSUMO_ENERGIA}{PIB} * \frac{CO_2}{CONSUMO_ENERGIA}$$

De acordo com a expressão acima, a Intensidade de Emissão de CO₂ está diretamente relacionada ao índice de intensidade energética ($\frac{CONSUMO_ENERGIA}{PIB}$) e ao coeficiente de emissão ($\frac{CO_2}{CONSUMO_ENERGIA}$). Portanto, as variações da Intensidade de Emissão de CO₂ dependem de variações no índice de intensidade energética - que varia em função do efeito atividade, estrutura ou conteúdo- e no coeficiente de emissão, decorrente da matriz de consumo energético.

Segundo Munasinghe et al. (2006), a maior parte da pressão ambiental estudada se origina de mudanças tecnológicas, que afetam indistintamente a intensidade de degradação de todas as classes. De acordo com estes autores variações no padrão de consumo e na magnitude do consumo de cada grupo de renda afetam a intensidade de degradação de cada classe de renda.

Um aumento do nível de renda tanto pode ser associado à elevação dos níveis de consumo, o que tende a aumentar a degradação, como à redução da propensão marginal a consumir, que tende a reduzir o consumo em elevados níveis de renda. Quando a intensidade de degradação depende mais de mudanças na distribuição de renda e na propensão marginal a consumir do que de mudanças tecnológicas, de acordo com os referidos autores, reduz-se a probabilidade de relevância da relação de “U-invertido”.

Para Sun (1999) a Curva Ambiental de Kuznets para CO₂ pode ser visualizada apenas nos países onde já ocorreu o pico de intensidade energética. Segundo este autor o nível de renda per capita do pico de intensidade energética corresponde ao mesmo nível de renda em que ocorre o pico da Curva Ambiental da Kuznets para emissão de CO₂.

Para este autor a Curva Ambiental de Kuznets para CO₂ além de refletir o pico de intensidade energética, indica a situação real do consumo de energia, pois reflete a trajetória do índice de intensidade energética.

Segundo pressupostos da Curva Ambiental de Kuznets, a elevação da renda per capita aumenta a propensão a consumir bens limpos, o que induz a adoção de novas tecnologias. Segundo Munasinghe et al. (2006), quando a intensidade de degradação se reduz com a elevação da renda per capita, a degradação ambiental se reduz apesar do crescimento econômico. Portanto, é possível a ocorrência da forma de “U-invertido” da Curva Ambiental de Kuznets que a partir de certo nível de renda per capita o crescimento econômico se separa de degradação.

As seções seguintes irão comparar os dados de IIE com a evolução de intensidade de emissão de CO₂ dos países desenvolvidos e em desenvolvimento utilizando os mesmos países que ilustraram o capítulo anterior.

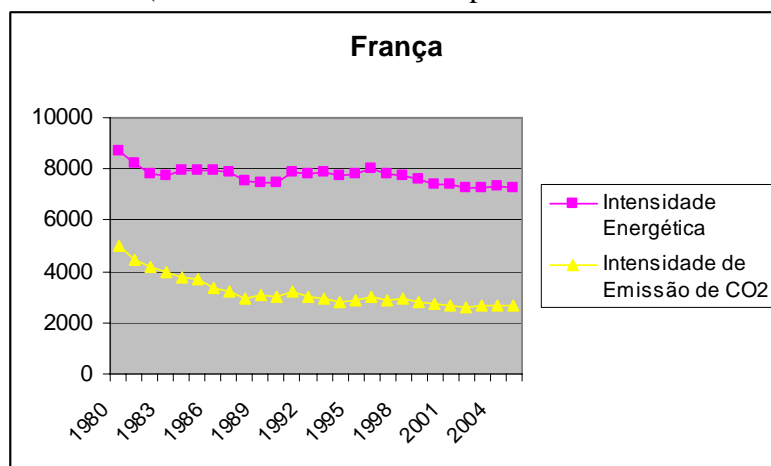
III.2 Evolução das Emissões nos Países Desenvolvidos

Nos países desenvolvidos a introdução de novas tecnologias ocorre de forma mais homogênea. Altos níveis de renda demandam tecnologia limpa, o que induz a mudanças tecnológicas, que tendem a ser mais eficientes o que reduz a intensidade de degradação. Quando a intensidade de degradação, neste caso a intensidade de emissão de CO₂, se reduz com o desenvolvimento econômico, a introdução de mudanças tecnológicas reduz a degradação por unidade de consumo.

Segundo Focacci (2003) os países desenvolvidos apresentaram uma trajetória de redução do índice de intensidade energética acompanhada de forma muito similar pela trajetória da Intensidade de Emissão de CO₂.

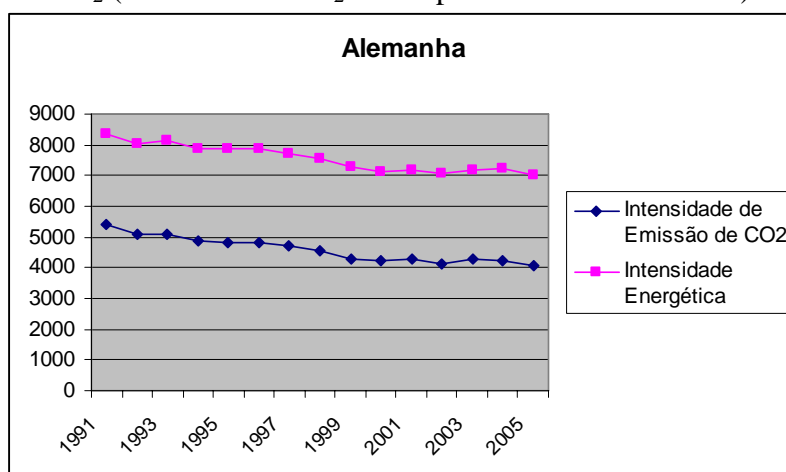
A seguir as figuras 37, 38 e 39 ilustram a relação entre o IIE e a Intensidade de Emissão de CO₂ da França, Alemanha e Reino Unido, que representam os casos de países desenvolvidos. Pretende-se verificar se a trajetória do índice de intensidade energética é seguida pela Intensidade de Emissão de CO₂ nestes países.

Figura 37: Comparação do IIE (Btu por dólar PPP ano 2000)¹⁵ com a Intensidade de Emissões de CO₂ (toneladas da CO₂e * 10⁶ por dólar PPP ano 2000) na França



Fonte: Dados EIA

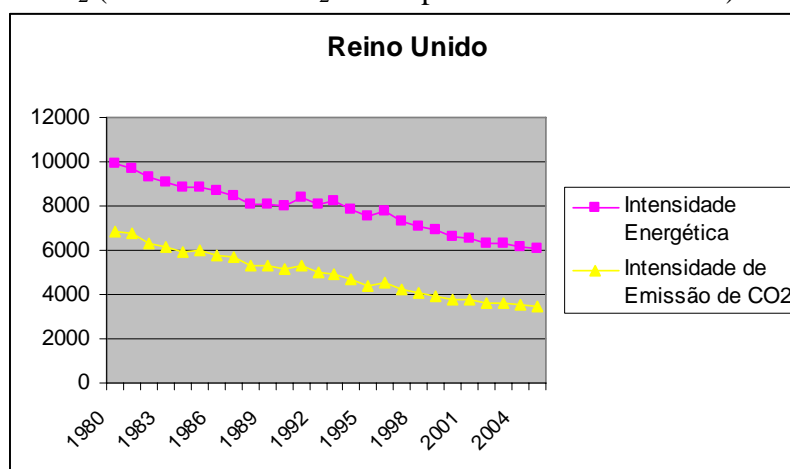
Figura 38: Comparação do IIE (Btu por dólar PPP ano 2000) com a Intensidade de Emissões de CO₂ (toneladas da CO₂e * 10⁶ por dólar PPP ano 2000) na Alemanha



Fonte: Dados EIA

¹⁵ British Thermal Unit (BTU) é uma unidade de energia utilizada nos Estados Unidos e no Reino Unido.

Figura 39: Comparação do IIE (Btu por dólar PPP ano 2000) com a Intensidade de Emissões de CO₂ (toneladas da CO₂e * 10⁶ por dólar PPP ano 2000) no Reino Unido



Fonte: Dados EIA

Os gráficos acima confirmam a hipótese de Focacci (2003), de que a trajetória do IIE dos países desenvolvidos é acompanhada de forma bastante próxima pela trajetória da intensidade de emissões de CO₂. De acordo com este autor, a trajetória semelhante destas variáveis nestes países deve-se aos objetivos comuns de regulação energética e ambiental que visam a introdução de eficiência energética.

Segundo este autor a trajetória das variáveis IIE e intensidade de emissões de CO₂ na França sofreu uma variação na inclinação em função da redução da dependência de petróleo, que teve seu pico de produção no fim dos 1980, e da adição de grande capacidade nuclear, o que reduziu significativamente as emissões de CO₂.

III.3 Evolução das Emissões nos Países em Desenvolvimento

Segundo Pandey (2002 *apud* Focacci, 2005) tanto os países desenvolvidos quanto os países em desenvolvimento têm algumas similaridades no setor energético. Este setor apresenta altas taxas de retorno, o que tem atraído investimentos internacionais, aumentando a taxa de competição global e induzindo a adoção de tecnologias mais eficientes.

Contudo, segundo o referido autor, os países em desenvolvimento apresentam características específicas que impactam consideravelmente na regulação ambiental e energética. As características citadas são: desigualdade da distribuição de renda, presença de grandes bolsões de pobreza, estilo de vida relacionado às condições rurais e muitas barreiras sociais e econômicas à expansão de novas tecnologias.

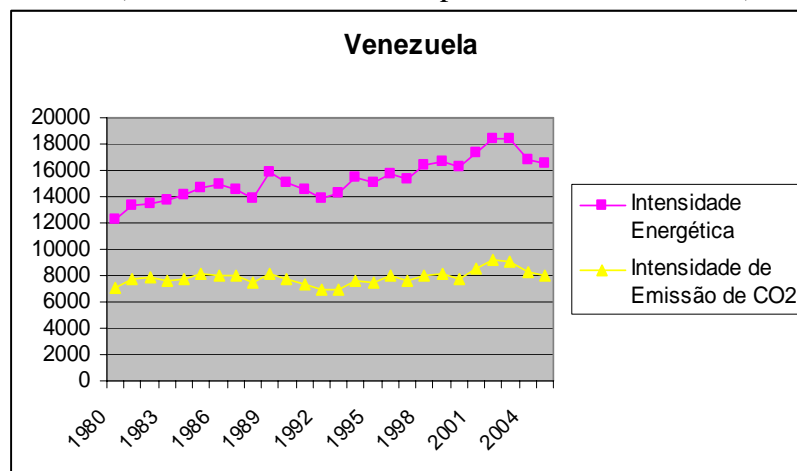
Na década de 1980 e 1990, conforme Young e Bishop (1995), o processo de ajustamento macroeconômico e setorial dos países em desenvolvimento não garantiu a sustentabilidade do processo de desenvolvimento econômico. O ajuste estrutural relacionado à liberalização do comércio e às reformas do setor público poderia levar à utilização mais eficiente dos recursos naturais.

Como visto no capítulo anterior os países em desenvolvimento renegaram as políticas energéticas em função de políticas de ajustamento econômico e estrutural. Em relação à política ambiental, estes países sustentavam o discurso de que para crescer era preciso primeiro poluir para depois preocupar-se em reduzir suas emissões. Esta postura foi modificada apenas quando as mudanças climáticas assumiram um papel principal na discussão internacional. Esta postura trouxe conseqüências aos países em desenvolvimento que, em sua maioria, ainda não possuem objetivos bem definidos de políticas energéticas e ambientais.

A falta de entrosamento entre as políticas ambiental e energética nos países em desenvolvimento provoca um distanciamento entre as trajetórias da variável intensidade de emissão de CO₂ e da variável IIE.

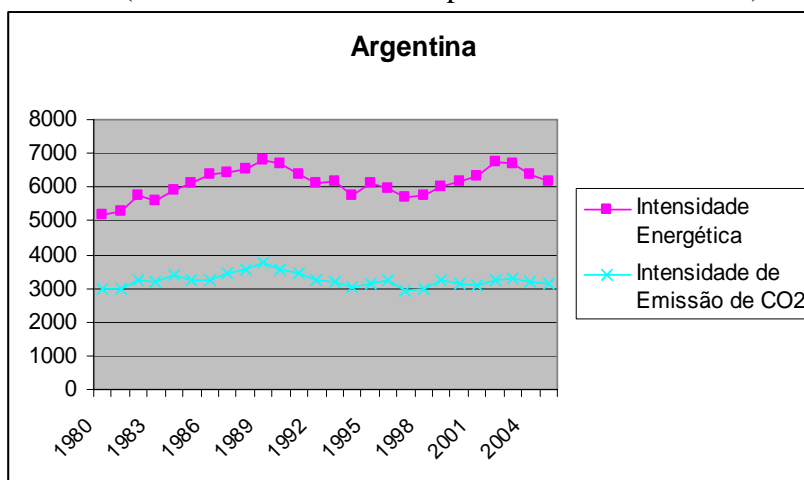
As figuras 40 e 41 apresentam a relação do IIE e da intensidade de emissão de CO₂ dos dois casos de países em desenvolvimento apresentados, a Venezuela e a Argentina, utilizando dados do *Energy Information Administration* de 1980 a 2005.

Figura 40: Comparação do IIE (Btu por dólar PPP ano 2000) com a Intensidade de Emissões de CO₂ (toneladas da CO₂e * 10⁶ por dólar PPP ano 2000) na Venezuela



Fonte: Dados EIA

Figura 41: Comparação do IIE (Btu por dólar PPP ano 2000) com a Intensidade de Emissões de CO₂ (toneladas da CO₂e * 10⁶ por dólar PPP ano 2000) na Argentina



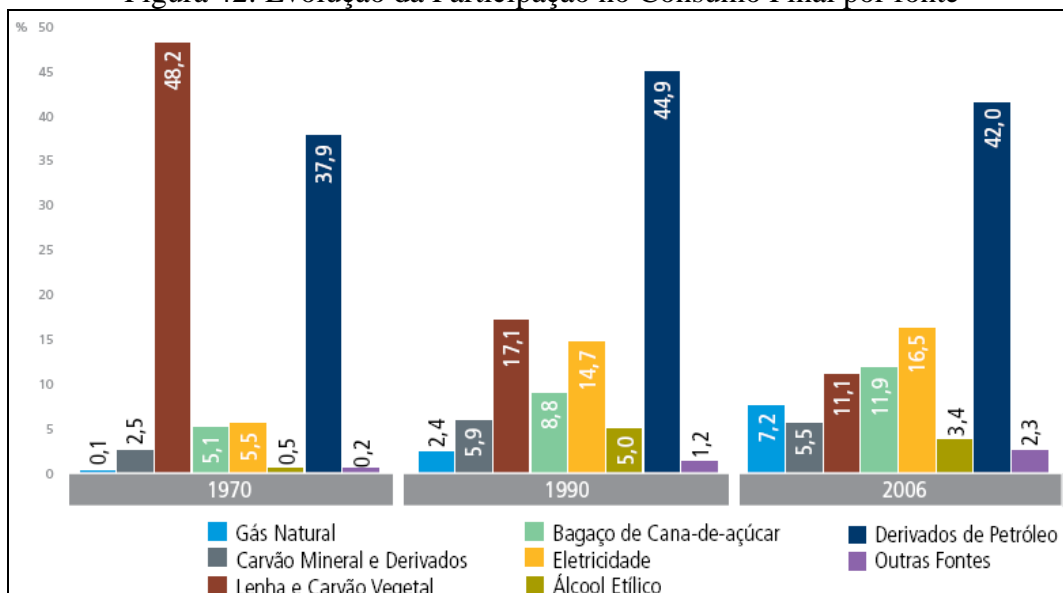
Fonte: Dados EIA

Os gráficos acima confirmam a hipótese de Focacci (2003) de que na ausência de relação entre as políticas energética e ambiental a trajetória da Intensidade de Emissão de CO₂ não segue a tendência do IIE. Segundo Munasinghe et al. (2006), a degradação ambiental se eleva com o crescimento do consumo nos países em desenvolvimento que não reduzem a intensidade de degradação com o crescimento econômico.

III.4 Evolução das Emissões no Brasil

A principal causa de poluição nos países em desenvolvimento é a queima de combustíveis fósseis na produção de eletricidade, no setor de transporte e no setor industrial. O consumo de energia no Brasil é muito dependente do consumo de combustíveis fósseis, que representam 42% deste consumo, seguido por 16,5% de eletricidade, 11,9% de bagaço de cana-de-açúcar, 11,1% de lenha e carvão vegetal, 7,2% de gás natural, 5,5 % de carvão, 3,4% de álcool etílico. O consumo final de energia de 1970 a 2006, conforme figura 42, vem modificando a participação destas fontes de energia da seguinte forma:

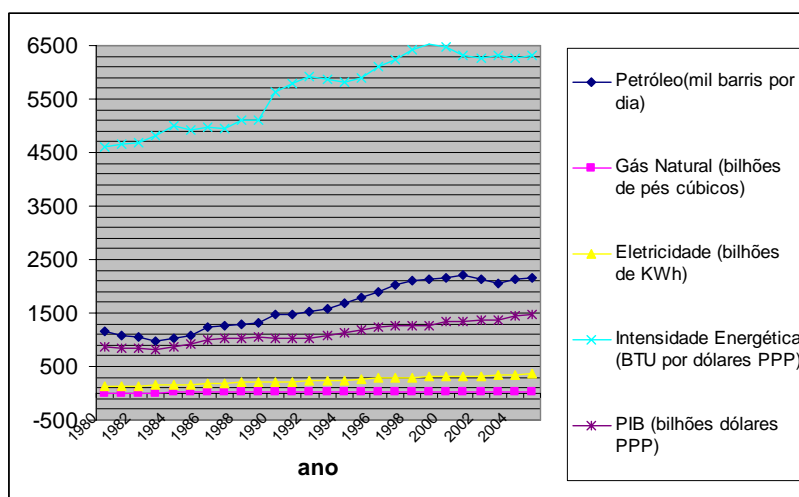
Figura 42: Evolução da Participação no Consumo Final por fonte



Fonte: BEN (2007) – dados 2006

O país possui uma trajetória crescente de intensidade energética que tem sido sustentada no período analisado (1980 – 2005) pela elevação da produção de petróleo. A figura 43 apresenta a evolução das variáveis que influenciam diretamente, e inversamente no caso do PIB, na trajetória desta variável.

Figura 43: Evolução do consumo de petróleo, gás natural e da eletricidade e do PIB brasileiro

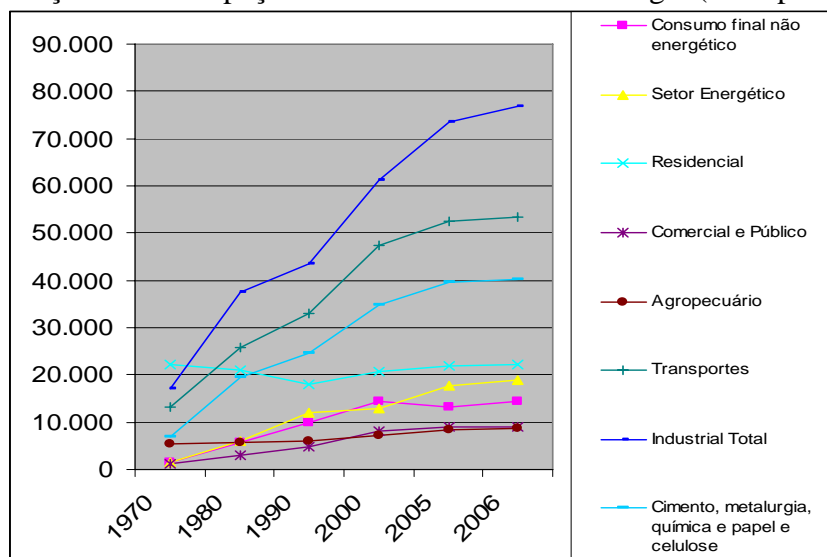


Fonte: Dados EIA

Segundo Focacci (2005) o uso mais intensivo em energia no país está relacionado ao setor de transportes, à modernização industrial e ao desenvolvimento de indústrias intensivas em energia, como as indústrias: de cimento, de metalurgia, química e de papel e celulose. A

figura 44 abaixo, construída a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2007, permite a visualização da evolução da participação do consumo final de energia por setor no Brasil.

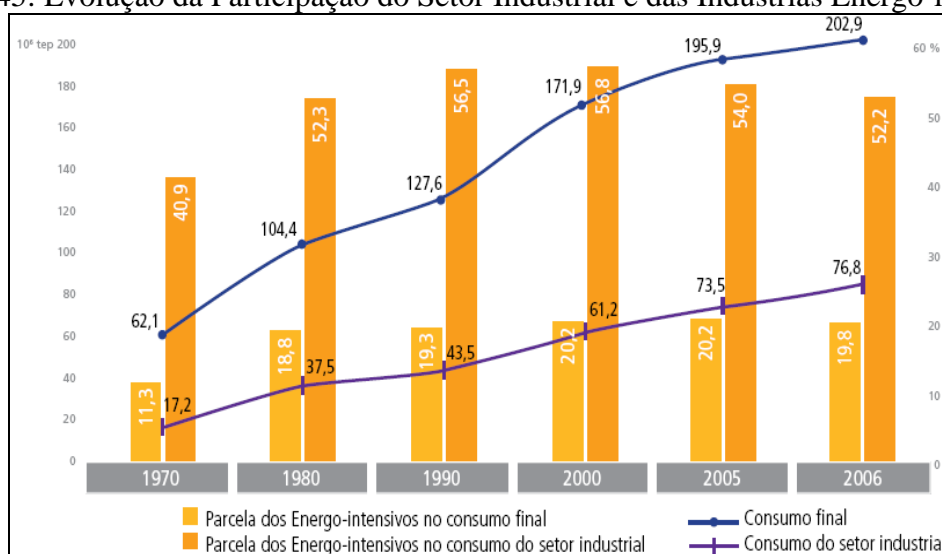
Figura 44: Evolução da Participação do Consumo Final de Energia (em tep * 10³)¹⁶ por Setor



Fonte: BEN (2007) – dados 2006

Conforme o BEN (2007), o setor industrial brasileiro foi o maior responsável pelo aumento do consumo de energia de 1970 a 2006, aumentando sua participação de 27,7% a 37,8%. A evolução da participação deste setor pode ser visualizada na figura 45 a seguir.

Figura 45: Evolução da Participação do Setor Industrial e das Indústrias Energo-intensivas

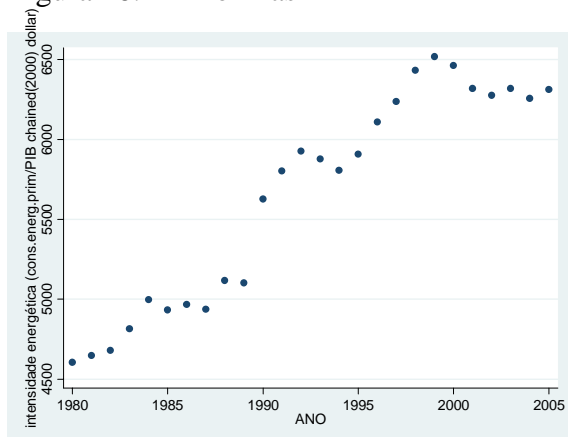


Fonte: BEN (2007)

¹⁶ Tep significa tonelada equivalente de petróleo.

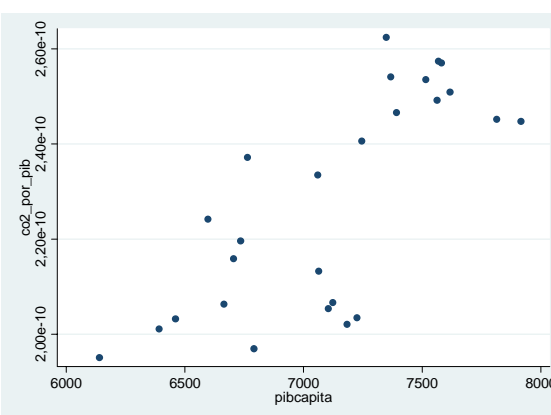
Conforme IEA (2008) o maior potencial para redução de emissão de CO₂ e do consumo energético está nos combustíveis fósseis, que no Brasil apresentam uma trajetória crescente. Esta elevação no consumo de combustíveis fósseis acarreta em uma elevação paralela das emissões de CO₂ provenientes do consumo de energia como podemos verificar na figura 47. A figura 46 a seguir apresenta a evolução da variável intensidade energética no mesmo período.

Figura 46: IIE no Brasil



Fonte: Dados EIA

Figura 47: Intensidade de Emissão de CO₂ no Brasil



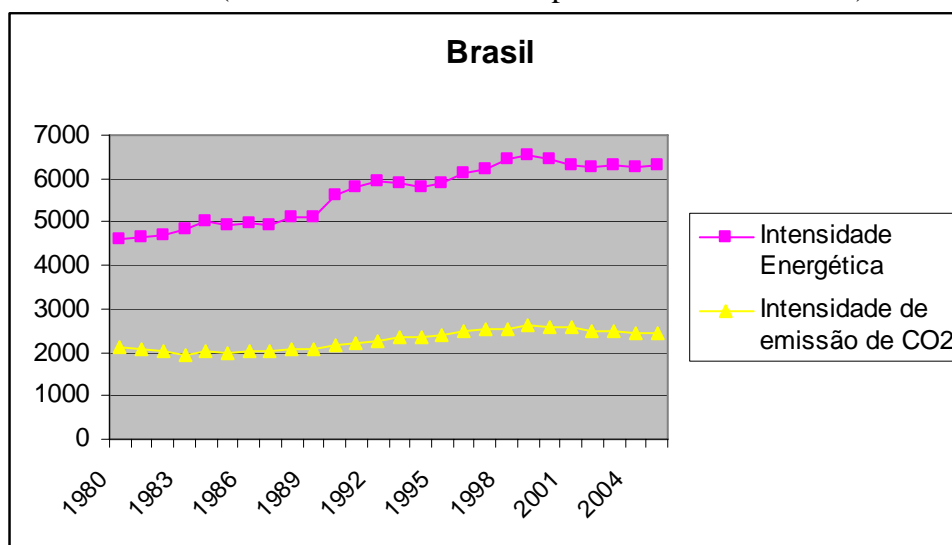
Fonte: Dados EIA

Segundo Munasinghe et al. (2006), apesar do crescimento contínuo da economia brasileira, o país não tem obtido resultados satisfatórios na redução das desigualdades e da poluição. O padrão de consumo de bens e serviços no país está se tornando mais intensivo em poluição, o que aumenta a intensidade de degradação ambiental.

Segundo os referidos autores, a agenda política no país se resume a crescimento e a redução de gargalos econômicos. Com estas prioridades reconhecidas e apoiadas por todas as políticas e pela opinião pública, a agenda ambiental, apesar de considerada, precisa ser balanceada com a agenda política.

A figura 48 abaixo demonstra que, assim como nos países em desenvolvimento, a variável Intensidade de Emissão de CO₂ brasileira não segue de forma tão próxima a tendência da variável IIE.

Figura 48: Comparação do IIE (Btu por dólar PPP ano 2000) com a Intensidade de Emissões de CO₂ (toneladas da CO₂ e * 10⁶ por dólar PPP ano 2000) no Brasil



Fonte: Dados EIA

Segundo Focacci (2003) este distanciamento deve-se à ausência de objetivos comuns entre as políticas energética e ambiental. O Brasil além de possuir uma regulação ambiental pouco eficiente, até o ano de 2005 não contava com um planejamento energético estruturado como a PNE 2030, o que confirma a falta de objetivos comuns dessas políticas.

Trajetórias crescentes do índice de intensidade energética e de emissões de CO₂ não são sustentáveis no longo prazo, o que sugere a necessidade de ganho de eficiência energética e de redução da dependência dos combustíveis fósseis.

Segundo Sun (2003) os países em desenvolvimento têm grande potencial para a substituição de combustíveis com fontes renováveis que devem ser aproveitadas. O Brasil possui uma participação crescente do álcool combustível, que pode constituir-se em um substituto dos combustíveis fósseis.

O setor elétrico aumentou sua utilização de gás natural para suprir a carência dos reservatórios de suas hidroelétricas, porém a falta de investimentos prévios em infra-estrutura deixou o setor vulnerável a crises políticas como a decorrente da redução do fornecimento do gás da Bolívia. A recente reforma no setor e os investimentos em infra-estrutura visam aumentar a segurança do abastecimento futuro, diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Contudo, para o Brasil seguir uma trajetória sustentável é imperativo que se intensifiquem as ações de eficiência energética, redução de emissões e da dependência em combustíveis fósseis.

CONCLUSÃO

Neste trabalho buscou-se investigar as relações entre a intensidade energética e a intensidade de emissão de CO₂. Pôde-se verificar que a trajetória de evolução do consumo energético dos países em desenvolvimento diferencia-se da trajetória dos países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento, que ainda estão expandindo sua infraestrutura, a taxa de crescimento do índice de intensidade energética é positiva, enquanto nos países desenvolvidos, que já possuem infraestrutura construída e políticas energéticas e ambientais eficientes, esta taxa é decrescente.

A análise comparativa do índice de intensidade energética com a intensidade de emissão de CO₂ para os dois grupos de países apresentou resultados distintos. Nos países desenvolvidos a trajetória destas duas variáveis, de forma geral, apresenta a mesma tendência. A substituição de infraestrutura e o progresso tecnológico nestes países possibilitou a introdução de técnicas mais eficientes, compatíveis com os objetivos de política energética e ambiental. A compatibilidade dos objetivos de política energética e ambiental, segundo Focacci (2003), influencia a variável intensidade de emissões de CO₂, que acompanha de forma bastante próxima a trajetória da variável intensidade energética.

Nos países em desenvolvimento a trajetória das variáveis intensidade energética e intensidade de emissão de CO₂ não segue uma mesma tendência. Segundo Focacci (2003), este fato deve-se a falta de objetivos comuns entre a regulação energética e ambiental nos referidos países.

No caso específico do Brasil verificou-se que a posição favorável do país em relação aos recursos naturais somada às crises econômicas fez com que o país renegasse o planejamento energético nas duas últimas décadas. Esta postura resultou na crise de abastecimento energético do ano de 2002. Tal fato demonstra a falta de planejamento energético no período analisado, o que influenciou na falta de ações de eficiência energética, redução de emissões e da dependência em combustíveis fósseis. No Brasil, assim como nos países em desenvolvimento, observou-se uma falta de coordenação entre os objetivos das

políticas energética e ambiental, o que explica a falta de relação entre a trajetória das variáveis intensidade energética e intensidade de emissão de CO₂.

O índice de intensidade energética representa um excelente indicador de eficiência do consumo energético em relação aos recursos do país. Este indicador se constitui em uma excelente ferramenta de análise nos países desenvolvidos e deve auxiliar os países em desenvolvimento, como o Brasil, a implementar políticas energéticas e ambientais eficientes, limpas e sustentáveis.

É oportuno salientar que estudos econométricos não abordados neste trabalho, deverão ser alvo de estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. *Modelo de Projeção de Uso de Energia Baseado em Coeficientes Setoriais de Intensidade Energética: Princípios e Metodologia*. Rio de Janeiro: ANP, 2001. Disponível em: <

http://www.anp.gov.br/doc/notas_tecnicas/Nota_Tecnica_ANP_012_2001.pdf >. Acesso em: 15 fev. 2008.

ALVIM, Carlos Efeu. Projeto: Fornecimento de instrumentos de avaliação de emissões de gases de efeito estufa acopladas a uma matriz energética. *Economia & Energia*, n. 29, nov-dez. 2001.

ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T. Curva Ambiental de Kuznets e Desenvolvimento Econômico Sustentável. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 44, n. 3, p.525–548, 2006.

BRITISH PETROLEUM. *BP Statistical Review of World Energy: June 2008*. Disponível em: <<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. *Globalização e desenvolvimento*. Brasília, p.273–305, maio 2002. Disponível em: <<http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/9/10029/Por-cap9-Globalizacion.pdf>>. Acesso em: 10 abril 2008.

DOLLAR, D.; KRAAY, A. Growth Is Good for the Poor. *Journal of Economic Growth*, Washington, v.7, n.3, p.195-225, set. 2002.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Energy Policies IEA Countries – France 2004 Review* . Disponível em:

<http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1301>. Acesso em: 25 maio 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Energy Policies IEA Countries – Germany 2007 Review* . Disponível em:<

<http://www.iea.org/textbase/npsum/Germany2007sum.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Energy Policies IEA Countries – United Kingdom 2006 Review* . Disponível

em:<http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1860>. Acesso em: 25 maio 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *International Energy Annual 2004*. Disponível em: < <http://www.eia.doe.gov/iea/>>. Acesso em: 25 maio 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *International Energy Outlook 2007*. Washington, 2007. Disponível em: < [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2007\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2007).pdf)>. Acesso em: 03 abril 2008.

FOCACCI, A. Empirical evidence in the analysis of the environmental and energy policies of a series of industrialized nations, during the period 1960-1997, using widely employed macroeconomic indicators. *Energy Policy* 31, Bologna, v.31, n.4, p.333-352, mar. 2003.

FOCACCI, A. Empirical analysis of the environmental and energy policies in some developing countries using widely employed macroeconomic indicators: the cases of Brazil, China, India. *Energy Policy* 33, Bologna, v.33, n.4, p.543-554, mar. 2005.

GHG DATA 2006. Highlights from Greenhouse Gás (GHG). Emissions Data for 1990-2004 for Annex I Parties. United Nations Framework on Climate Change, 2006. Disponível em: < http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/ghg_booklet_06.pdf>. Acesso em: 01 maio 2008.

GIAMBIAGI, F.; VILLELA, A.; CASTRO, L Barros de; HERMAN, J. et al. *Economia Brasileira Contemporânea: 1945-2004*. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2004. 432 p.

GOLDEMBERG, J. Física e políticas públicas. *Revista de Estudos Avançados*, São Paulo, v.10, n. 27, p.109-113, 1996.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, v.110, p. 353-378, 1995.

HARBAUGH, William; LEVINSON, Arik; WILSON, David. Reexamining the Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve. *NBER Working Paper 7711*, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 2001.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency – Key insights from IEA Analysis*. Communication and Information Office, Paris, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics 2007*. Disponível em: < http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1199>. Acesso em: 11 fev. 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy policies of IEA Countries: France*. 2004. Disponível em: < http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/France_comp04.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2008.

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, v.45, n.1, p.1-28, mar. 1955.

LOPES, José Carlos de Jesus. Mudanças Climáticas e suas conseqüências socioeconômicas. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n. 1, p. 127-146, jan./abr. 2008.

LOPEZ, Ramon; MITRA, Siddhartha. Corruption, Pollution, and the Kuznets Environment Curve. *Journal of Environmental Economics and Management*, Elsevier, v. 40(2), p. 137-150, set. 2000.

MIKETA, A. Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries. *Energy Policy*, v.29, n.10, p.769-775, 2001.

MUNASINGHE, Mohan (org.) et al. Macroeconomic Policies for Sustainable Growth analytical framework and policy studies of Brazil and Chile. Edward Elgar Publishing, 2006. 360 p.

PAINEL INTEGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. *Mudança do Clima: a Base das Ciências Físicas*. Genebra: IPCC, 2007. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57286.html>>. Acesso em: 10 abril 2008.

PINTO JR., H. Q.(Org.) et al. *Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 343 p.

SALVATO, M. A. et al. *Crescimento e Desigualdade: evidências da Curva de Kuznets para os municípios de Minas Gerais – 1991/2000*. Minas Gerais: PUC Minas, 2006.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental Quality and Development: Is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emission? *Journal for Environmental Economics and Management*. Elsevier, v. 27, n.2, p.147-162, set. 1994.

STERN, Nicholas. *Stern Review: The Economics of Climate Change*. Disponível em: <www.hm-treasury.gov.uk/Independent_Reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm>. Acesso em: abril 2008.

SUN, J.W. The Nature of CO2 Emission Kuznets Curve. *Energy Policy* 27, Turku, v.27, n.12, p.691-694, nov. 1999.

SUN, J.W. Three types of decline in energy intensity – an explanation for the decline of energy intensity in some developing countries. *Energy Policy* 31, Turku, n.6, p.519-526, 2003.

YOUNG, C. E. F; BISHOP, J. Adjustment and the environment: a critical review of the literature. CREED Working Paper Series n.1. Londres: International Institute for Environment and Development, 1995.