

# OS IMPACTOS DO CRESCIMENTO ECONÔMICO SOBRE O AQUECIMENTO TERRESTRE: A CONTRIBUIÇÃO DOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

*Maria Fernanda Cavalieri de Lima Santin<sup>1</sup>*

*Augusto Mussi Alvim<sup>2</sup>*

## RESUMO

O objetivo deste artigo é estimar as emissões de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, para o ano de 2012, provenientes das atividades econômicas em alguns países em desenvolvimento, a saber: África do Sul, Argentina, Brasil, China, Índia e México. Inicialmente, são apresentadas as principais causas do aquecimento terrestre e como a utilização de combustíveis fósseis amplia o efeito estufa. Em seguida, são estimadas as emissões de CO<sub>2</sub> para três cenários alternativos utilizando-se da Identidade de Kaya. Nos três cenários foram considerados que o aumento populacional e o crescimento da economia seguiriam as taxas médias do período 2000-05. Tentou-se avaliar os efeitos da redução dos índices de intensidade energética e de CO<sub>2</sub>, mantida a mesma taxa de crescimento econômico e populacional. Neste sentido, nem mesmo no cenário no qual é previsto um maior uso de energias renováveis e de tecnologias voltadas à proteção do meio ambiente, foi possível reduzir os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> em todos os países.

**Palavras-chave:** Emissões de CO<sub>2</sub>, combustíveis fósseis, Identidade Kaya.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a ratificação do Protocolo de Quioto, os países do Anexo I<sup>3</sup> daquele tratado comprometeram-se em reduzir as emissões dos gases que potencializam o efeito estufa e o aquecimento global. A partir deste acordo, este grupo de países assumiu a responsabilidade de diminuir as emissões em, pelo menos, 5,2% até 2012, tomando como base o nível de emissões de 1990. Com o objetivo de viabilizar

No cumprimento desta meta, foram criados mecanismos de flexibilização que possibilitam aos países do Anexo I adquirirem certificados de reduções de emissões de países que desenvolvam projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Os projetos de MDL são aqueles que permitem a redução das emissões dos gases através da inserção de países em desenvolvimento nas atividades estipuladas pelo Protocolo de Quioto. A contribuição de um MDL na redução das emissões é reconhecida através dos certificados de redução de emissões (CRE), ou simplesmente, Créditos de Carbono. Os CRE são negociados em bolsas de mercadorias e futuros, onde cada crédito equivale a uma tonelada métrica de dióxido de carbono seqüestrado ou mitigado.

Contudo, dois dos principais emissores de gases, EUA e Austrália, não ratificaram o acordo e questionam a não-participação dos países em desenvolvimento. Em função disto, nas novas negociações para a continuidade do Protocolo a partir de 2012, já na Conferência das Partes das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (2006), foi proposto que a meta de redução também seja estendida aos países em desenvolvimento, haja vista seus volumes de emissões de gases intensificadores do efeito estufa.

Com base nesta problemática, o presente artigo tem por objetivo estimar as emissões de dióxido de carbono para o ano de 2012, provenientes da queima de combustíveis fósseis nos principais países emissores em desenvolvimento, a saber: África do Sul, Argentina, Brasil, China, Índia e México. A escolha destes justifica-se por serem países em desenvolvimento que não possuem metas de redução das emissões de CO<sub>2</sub> no âmbito do

Protocolo de Quioto. A motivação para o estudo está relacionada à discussão sobre a responsabilidade dos países em desenvolvimento quanto às suas emissões.

Além desta introdução, na segunda seção são discutidos os principais aspectos sobre aquecimento global e crescimento econômico, destacando aspectos como perfil dos países analisados em termos de emissão, tipos de energia utilizada e efeitos destas variáveis sobre o aquecimento global. A seguir é apresentada a metodologia, com destaques a caracterização das regiões analisadas, a identidade de Kaya e os cenários propostos. Por fim, são apresentados os resultados e as principais conclusões sobre o estudo.

## **2 CRESCIMENTO ECONÔMICO E AQUECIMENTO GLOBAL**

O efeito estufa é um fenômeno natural pelo qual a atmosfera se mantém em temperatura constante, possibilitando, com isso, a existência de vida no planeta. Para alcançar o equilíbrio térmico, a Terra emite para o espaço a mesma proporção de energia que recebe de radiação solar. A radiação incidente atravessa as diversas camadas da atmosfera e seu retorno ocorre na forma de radiações térmicas, que são absorvidas pelo dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>.

Somando-se ao processo natural, as atividades antrópicas resultam em contribuições adicionais de gases de efeito estufa, acentuando a concentração dos mesmos na atmosfera e, conseqüentemente, ampliando a capacidade de absorção de energia que naturalmente já possuem (BNDES, 1999). Desta forma, o aumento do nível de concentração de CO<sub>2</sub> presente no meio ambiente está diretamente relacionado à elevação da temperatura terrestre, que é vista como um dos problemas atuais de maior relevância pelos organismos internacionais, devido ao seu potencial de alcance e de transformação ambiental.

Os gases que mais contribuem para o efeito estufa, quando se trata das emissões antropogênicas são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os halo carbonos, constituídos por carbono e halogênios – bromo, cloro, flúor e iodo, o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>) (ver

Tabela 1). Cada um destes gases possui seu próprio potencial de aquecimento global, em função da intensidade em que absorvem energia solar, bem como do tempo de permanência na atmosfera (PINHEIRO, 2005).

O dióxido de carbono é considerado o gás de efeito estufa padrão, de forma que todos os outros gases têm seus potenciais de aquecimento global expressos em equivalência. O período usualmente utilizado para fazer as comparações é de 100 anos. (PINHEIRO, 2005). A Tabela 1 mostra as principais atividades humanas responsáveis pelas emissões e o potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa mais importantes.

Conforme as informações da Tabela 1, todos os gases possuem potencial de aquecimento global superior ao do dióxido de carbono. No entanto, este é o gás que mais contribui para a intensificação do efeito estufa e, conseqüentemente, para a elevação da temperatura global. Isso se deve ao fato do volume de suas emissões contribuírem com 55% do total dos lançamentos de gases de efeito estufa e o tempo de sua permanência na atmosfera é superior a 100 anos (BNDES, 1999).

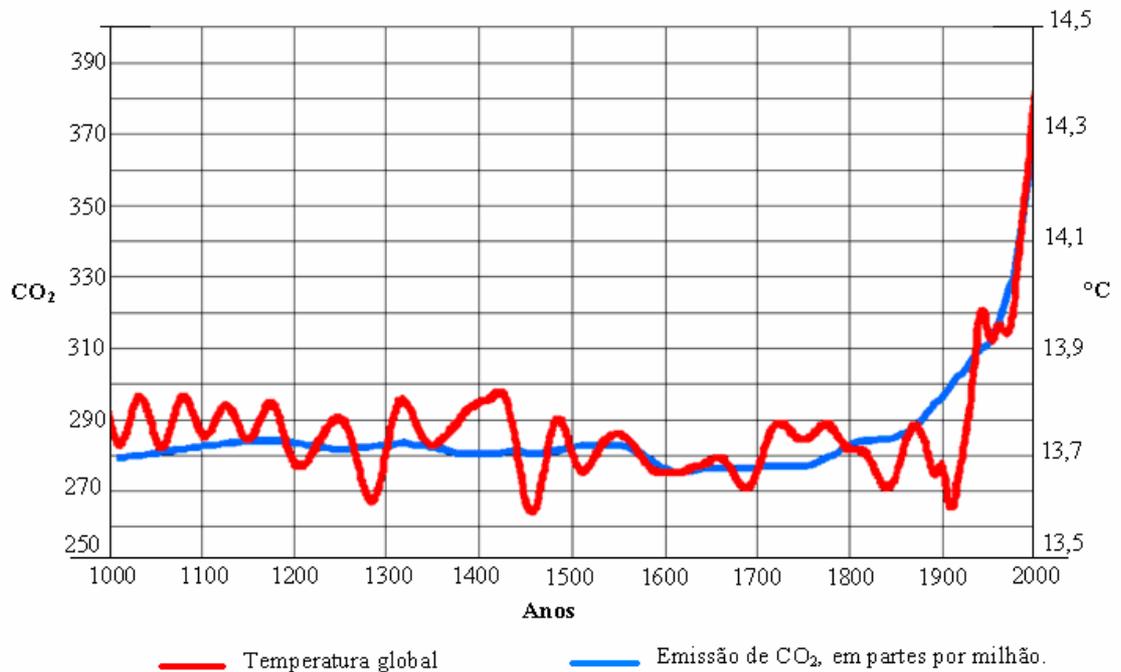
**Tabela 1** Gases do efeito estufa, nomenclatura, principais fontes de emissão e seu potencial de aquecimento global

Gases do Efeito estufa	Fórmula	Principais atividades humanas responsáveis pelas emissões destes gases	Potencial de Aquecimento Global, 100 anos.
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	- Queima de combustíveis fósseis (gás natural, carvão mineral, petróleo e	1
		- Queimadas em florestas	
Metano	CH <sub>4</sub>	- Extração, transporte e distribuição de combustíveis fósseis (emissões fugitivas).	23
		- Combustão incompleta de combustíveis fósseis.	
		- Decomposição de resíduos líquidos e sólidos.	
		- Produção de animais.	
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	- Combustão de combustíveis fósseis.	296
		- Atividades agrícolas (principalmente pela adição de fertilizantes nitrogenados).	
		- Processos industriais.	
Ozônio	O <sub>3</sub>	- Formado na baixa atmosfera a partir de outros poluentes gerados pela combustão de combustíveis fósseis.	-
Halocarbonos	diversas	- Vazamentos em equipamentos que utilizam CFCs ou HFCs.	120 - 12.000
		- Processos industriais.	
Hexafluoreto de enxofre	SF <sub>6</sub>	- Usado como isolante em equipamentos elétricos.	22.200
		- Processos industriais.	

Fonte: Pinheiro, 2005.

No Gráfico 1 percebe-se a relação existente entre o aumento da emissão do CO<sub>2</sub>, representado pela linha azul, e da temperatura global, cor vermelha. Chama-se atenção para o significativo aumento na temperatura e nas emissões no período compreendido entre 1900 e 2000. Neste intervalo de

tempo houve um aumento médio de 0,6°C na temperatura da superfície do globo, enquanto que os níveis de CO<sub>2</sub> aumentaram em volume de 265 partes por milhão, em 1900, para quase 390 partes por milhão em 2000.



Fonte: Etheridge et al, 1998.

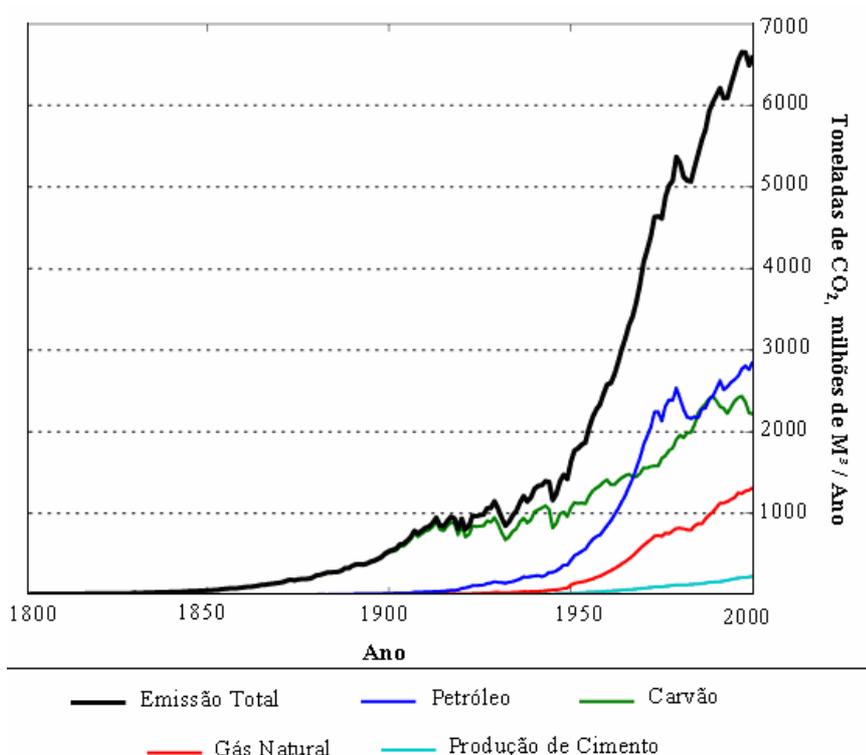
**Gráfico 1** Variação da temperatura global e da concentração de CO<sub>2</sub> presente no ar nos últimos 1000 anos

As emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera decorrem, em grande parte, do crescimento econômico. Pode-se citar a queima de combustíveis fósseis, entre os quais se incluem o petróleo, carvão e o gás natural, como a maior fonte emissora. Já a produção de cimento foi responsável pela emissão de 5 bilhões de toneladas de dióxido de carbono entre os anos de 1928 e 1998 (OAKRIDGE, 2002 apud ROSA et al, 2002). Estima-se que para cada tonelada de cimento produzida, 0,6 tonelada de CO<sub>2</sub> seja gerada. No Gráfico 2 é demonstrada a evolução da emissão de CO<sub>2</sub> decorrente da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento.

A transformação de energia em força motriz é responsável por 25% do total dos gases do efeito estufa e na última década, a taxa de crescimento foi de 2,2% ao ano. Nos países em desenvolvimento, as emissões decorrentes da

queima de combustíveis fósseis apresentam um ritmo de crescimento mais elevado frente ao dos desenvolvidos (STERN, 2006).

As emissões dos gases do efeito estufa decorrentes da queima de combustíveis fósseis, transportes, construções e indústrias alcançam 57% do total. O desflorestamento e a destruição de outros sumidouros e reservatórios naturais, que absorvem o dióxido de carbono, bem como as atividades agrícolas são fontes emissoras de 41% dos gases do efeito estufa (STERN, 2006). Desta forma, as atividades econômicas podem ser apontadas como a principal causa do aquecimento terrestre, por liberarem grande quantidade de gases seus processos de transformação do meio-ambiente.



Fonte: Marland, G. et al, 2003.

**Gráfico 2** Emissão de CO<sub>2</sub>, proveniente da queima de combustíveis fósseis

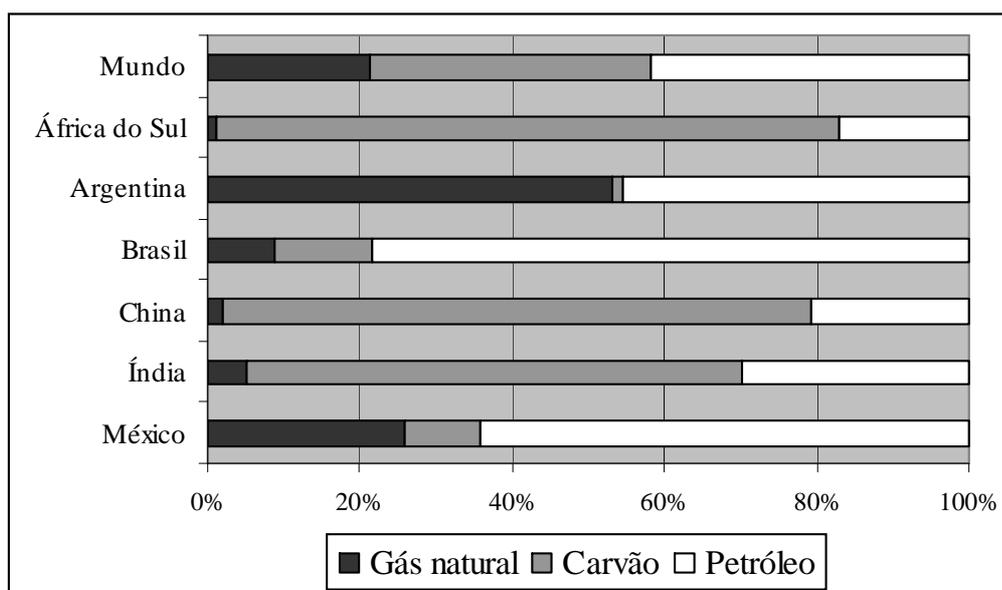
Quando se objetiva estimar as emissões de CO<sub>2</sub> futuras, uma consideração relevante é a utilização do coeficiente de intensidade de dióxido de carbono ( $ICO_2$ ) que abrange as liberações derivadas de energias fósseis, bem como a do coeficiente de intensidade energética ( $IE$ ). A intensidade energética das atividades econômicas é uma medida do consumo de energia

fóssil por unidade efetiva produzida economicamente e indica o grau de eficiência energética presente no país. Por sua vez, a intensidade de dióxido de carbono refere-se a quantidade de carbono associada a cada unidade de energia consumida no processo produtivo. Em certa medida, esta variável capta o potencial poluidor da matriz energética.

Tanto o  $ICO_2$  quanto o  $IE$ , estão associados à tecnologia utilizada no processo produtivo. Técnicas mais modernas geralmente otimizam a quantidade de energia gasta, de forma que as emissões resultantes são inferiores às provenientes de técnicas menos sofisticadas. Sendo assim, pode-se afirmar que, considerando que os crescimentos populacional e econômico ocorram, a única maneira de manter o nível de emissão de  $CO_2$  dentro de limites apropriados é através da incorporação de tecnologias que permitam a substituição da matriz energética e ampliem a eficiência do processo.

Considerando as diferenças tecnológicas, de crescimento econômico e populacional, existem peculiaridades nos países em desenvolvimento quanto à fonte de energia utilizada. As emissões de  $CO_2$  variam de acordo com o tipo de energia utilizada. O carvão é o combustível mais intensivo em dióxido de carbono, seguido por petróleo e gás natural (EIA, 2006).

No Gráfico 3 é apresentada a participação, por fontes energéticas, das emissões de  $CO_2$  provenientes dos países selecionados. Observa-se que na África do Sul, 81,90% das emissões oriundas de combustíveis fósseis provêm do carvão. Na China, a participação é de 77,13%, enquanto que na Índia, 64,98%. No caso do Brasil, 78,5% das emissões decorrentes do uso de combustíveis são originárias do petróleo. É a maior participação dentre os países observados, seguido pelo México, com 64,28%.



Fonte: Euromonitor International 2007.

**Gráfico 3** Participação das emissões de CO<sub>2</sub> para os países selecionados, por fonte energética, em 2003.

Na média mundial de emissões de dióxido de carbono derivadas de combustíveis fósseis, o petróleo é a fonte energética que mais contribui para as emissões totais, com participação de 41,74%. O carvão é responsável por 37,00% das emissões e o restante, 21,26% originam-se do gás natural.

Na próxima seção é apresentada a metodologia que permitirá estimar as emissões de CO<sub>2</sub> nos países selecionados, derivados da queima de combustíveis fósseis, a partir de um conjunto de variáveis sócio-econômicas selecionadas.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia proposta tem por objetivo avaliar a quantidade de dióxido de carbono proveniente da combustão fóssil<sup>4</sup>, que será emitida pelos países em desenvolvimento selecionados, no ano de 2012, considerando três cenários alternativos. A escolha do ano de 2012 deve-se ao fato deste ser o término da vigência do Protocolo de Quioto<sup>5</sup> e o provável início de um novo tratado. Este

novo tratado deverá propor novos parâmetros, dentre os quais a redução das emissões por parte dos países em desenvolvimento (CNUMA, 2006).

Em seguida, são apresentados os cenários considerados e a ferramenta utilizada para prospectar as emissões futuras decorrentes do uso dos combustíveis fósseis.

### **3.1 A Identidade de Kaya**

Uma forma de tentar quantificar as emissões de dióxido de carbono futuras é através da Identidade de Kaya (KAYA et al., 1989). De acordo com a Identidade de Kaya, a variação na emissão de dióxido de carbono é resultado da variação populacional, do produto interno *per capita*, da intensidade energética de atividades econômicas e da intensidade de dióxido de carbono proveniente da fonte de energia.

Esta metodologia é considerada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change*, para estimar cenários de emissões, cuja vantagem refere-se à decomposição das emissões em quatro forças, o que simplifica a comparação e a análise de diversos cenários de emissões (*IPCC Special Report on Emissions Scenarios, 1992*).

Stern (2006), através da utilização da Identidade Kaya aplicada a um conjunto de países concluiu que, no período de 1992 a 2002, houve reduções na intensidade energética e na intensidade de CO<sub>2</sub>, fatores que refletem no retardamento das emissões globais, mas as emissões totais sofreram aumento devido ao crescimento econômico e populacional.

Gutierrez e Mendonça (2002) utilizaram a Identidade Kaya para simular cenários em que consideram a emissão de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia e algumas variáveis macroeconômicas para o Brasil, em uma tentativa de avaliar o impacto da produção e do consumo energético no País na sustentabilidade climática. De acordo com este estudo, houve uma contínua elevação da intensidade energética no período de 1970 a 1990. E uma possível causa deste aumento está relacionada à mudança estrutural na indústria e à substituição das fontes energéticas. A perda de competitividade de setores nacionais menos intensivos no uso da energia estaria forçando uma realocação menos favorável. Entretanto, visto que a taxa de crescimento populacional tem

mostrado desaceleração, pode ocorrer que um aumento da intensidade energética seja compensado pela desaceleração da renda *per capita* e da população, fazendo com que haja diminuição da quantidade emitida de CO<sub>2</sub>.

Formalmente, a Identidade Kaya é estruturada da seguinte maneira:

$$Emiss\tilde{a}oCO_2 = \Delta Popula\tilde{c}\tilde{a}o * \Delta Pr\tilde{o}duto_{percapita} * IE * ICO_2 \quad (3.1)$$

Em que,

*Emiss\tilde{a}o CO<sub>2</sub>* = Emiss\tilde{o}es de di\tilde{o}xido de carbono no per\tilde{í}odo i;

*\Delta Popula\tilde{c}\tilde{a}o* = crescimento populacional no per\tilde{í}odo i;

*\Delta Pr\tilde{o}duto\_{percapita}* = crescimento do produto interno *per capita* no per\tilde{í}odo i;

*IE* = Intensidade energética;

*ICO<sub>2</sub>* = Intensidade de di\tilde{o}xido de carbono

É oportuno reafirmar que tanto a intensidade energética quanto a de di\tilde{o}xido de carbono relacionam-se com a tecnologia associada ao processo produtivo. Técnicas mais modernas geralmente otimizam a quantidade de energia utilizada, de forma que as emiss\tilde{o}es resultantes s\tilde{a}o inferiores às provenientes de técnicas menos sofisticadas. Sendo assim, pode-se afirmar que, considerando que os crescimentos populacional e econ\tilde{o}mico mantenham a mesma taxa anual de crescimento, a \tilde{u}nica maneira de manter o n\tilde{í}vel de emiss\tilde{a}o de CO<sub>2</sub> é através da incorpora\tilde{c}\tilde{a}o de tecnologias que permitam a substitui\tilde{c}\tilde{a}o da matriz energética e amplie a efici\tilde{e}ncia do processo.

### 3.2 Caracterização do Cenário Base

Na Tabela 3 estão relacionados os crescimentos econômico e populacional bem como as intensidades energética e de CO<sub>2</sub>. Estas informações foram utilizadas para a construção do cenário base.

Dentre os países selecionados, a África do Sul é o que apresentou os maiores índices de intensidade energética e de CO<sub>2</sub> em 2003, que podem ser explicados pelo elevado uso do carvão em sua matriz energética. Neste ano, seus indicadores estavam bem acima da média mundial, como pode ser observado na Tabela 3. Já a Argentina é o país que apresentou o menor coeficiente de relação entre a energia fóssil consumida e o produto bruto gerado, demonstrado pela intensidade energética. A intensidade de CO<sub>2</sub> também ficou abaixo da média mundial. Este fato decorre da elevada participação do gás natural na matriz energética do país.

**Tabela 3** Crescimento anual econômico e populacional, intensidade energética e de CO<sub>2</sub> dos países selecionados, por período indicado

Países	Crescimento anual médio do PIB 2000-2005 (em %)	Crescimento anual médio da população 2000-2005 (em %)	Intensidade energética em 2003	Intensidade de CO <sub>2</sub> em 2003
África do Sul	4,20	1,72	0,26	3,18
Argentina	1,58	1,02	0,14	2,15
Brasil	2,71	1,46	0,15	1,74
China	11,82	0,67	0,22	2,18
Índia	7,60	1,58	0,19	1,79
México	2,78	1,11	0,18	2,37
Mundo	5,85	1,05	0,22	2,17

Fonte: Banco Mundial, 2007, Euromonitor International 2007 e CGSDI, 2007.

O Brasil apresentou tanto a intensidade energética quanto a de CO<sub>2</sub> abaixo da média mundial e possui a melhor interação entre os dois índices.

Este fato pode ser explicado pela composição de sua matriz energética, que privilegia as fontes renováveis, tais como a hidrelétrica e o biocombustível. Entretanto, esta particularidade não será assumida neste trabalho, haja vista a delimitação proposta inicialmente, que abrange apenas as emissões provenientes de combustíveis fósseis.

Quanto se analisa o crescimento econômico dos países elencados, a China é o que apresentou a maior taxa de expansão média no período de 2000 a 2005, seguido pela Índia. Estes países registraram expansão econômica acima da média mundial, de 5,85%. Em contrapartida, a Argentina foi o país que apresentou a menor expansão econômica no período analisado, explicada pela crise Argentina, que teve seu auge em 2002. O Brasil ocupa o segundo pior resultado, com crescimento médio de 2,71%.

Quanto ao crescimento populacional, a China obteve a menor variação média entre 2000 e 2005, refletindo a rígida política de controle de natalidade adotada pelo Governo Chinês. Apenas a China e a Argentina registraram índices abaixo da média mundial, de crescimento de 1,05%. O país de maior expansão populacional foi a Índia.

### **3.3 Cenários Alternativos**

Três cenários foram propostos a fim de simular as variações das emissões de dióxido de carbono provenientes dos países selecionados.

a) **Primeiro cenário:** supõe-se que a economia e a população dos países selecionados crescerão, na próxima década, a mesma taxa média do período 2000-2005. Os dados são apresentados na Tabela 3.

A demanda mundial de energia entre 1970 e 2000 apresentou crescimento de 2,26% ao ano, sendo que, os países industrializados apresentaram taxas anuais de expansão de 1,27% e os em desenvolvimento de 3,86%. Neste período, as variações na estrutura de participação das fontes de energia foram mínimas. O gás natural foi o único energético que apresentou acréscimo de participação, substituindo, principalmente, o carvão mineral. O petróleo e a energia nuclear apresentaram pequena redução na participação e as fontes renováveis permaneceram constantes (PATUSCO, 2002).

Nesse primeiro cenário considera-se que a demanda energética crescerá a taxas de 2,26% ao ano e que a matriz energética e as tecnologias utilizadas permanecerão constantes, de forma que não haverá nenhuma ação ou implementação de novas técnicas produtivas capazes de mitigar os gases do efeito estufa. Desta forma, em razão do aumento da demanda energética frente à constância tecnológica, tanto a intensidade de dióxido de carbono quanto a energética crescerão a taxa de 1%.

b) **Segundo cenário:** São consideradas as mesmas taxas de crescimento econômico e populacional do primeiro cenário, porém a intensidade energética apresentará declínio, supondo alterações nos padrões tecnológicos e mudanças estruturais.

A intensidade energética mundial, medida por unidade do valor adicionado, vem registrando queda de aproximadamente 0,92% ao ano, entre 1970 e 2000 (PATUSCO, 2002). Este será o coeficiente considerado para a projeção do segundo cenário. Quanto à intensidade de dióxido de carbono, esta será constante, pois se supôs a introdução de novas tecnologias, e também a substituição de combustíveis de maior potencial poluente por outros de potencial inferior, de forma a compensar o crescimento econômico e populacional.

c) **Terceiro cenário:** As taxas de expansão populacional e do produto serão mantidas constantes, a intensidade energética sofrerá declínio de 4,10% e a de dióxido de carbono, 2,5%. Observa-se que estas reduções são bem superiores às que vêm ocorrendo nas últimas décadas, porém são as necessárias para manter o nível de emissões mundiais constante, sem considerar a redução do crescimento econômico.

**Tabela 4** Cenários propostos relacionados de acordo com as variáveis utilizadas para cada país

Variáveis	Países	Cenários		
		I	II	III
Crescimento econômico	África do Sul	↑ 4,20	↑ 4,20	↑ 4,20
	Argentina	↑ 1,58	↑ 1,58	↑ 1,58
	Brasil	↑ 2,71	↑ 2,71	↑ 2,71
	China	↑ 11,82	↑ 11,82	↑ 11,82
	Índia	↑ 7,60	↑ 7,60	↑ 7,60
	México	↑ 2,78	↑ 2,78	↑ 2,78
Crescimento Populacional	África do Sul	↑ 1,72	↑ 1,72	↑ 1,72
	Argentina	↑ 1,02	↑ 1,02	↑ 1,02
	Brasil	↑ 1,46	↑ 1,46	↑ 1,46
	China	↑ 0,67	↑ 0,67	↑ 0,67
	Índia	↑ 1,58	↑ 1,58	↑ 1,58
	México	↑ 1,11	↑ 1,11	↑ 1,11
Intensidade energética	Todos	↑ 1,00%	↓ 0,92%	↓ 4,10%
Intensidade de CO <sub>2</sub>	Todos	↑ 1,00%	constante	↓ 2,50%

Fonte: Elaboração dos autores.

Na Tabela 4 estão relacionados os cenários utilizados para a estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> proveniente de combustível fóssil emitida, a partir da Identidade de Kaya (1989). Com base nestes, na próxima seção são analisados os principais resultados obtidos e a contribuição dos países selecionados para a emissão dos gases intensificadores do efeito estufa.

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da aplicação dos dados apresentados na Tabela 3 na fórmula 3.1 pôde-se projetar a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> proveniente da utilização de combustíveis fósseis que cada país selecionado estará emitindo em 2012, em cada cenário proposto, caso mantenham-se constantes as atuais

taxas de expansão econômica e populacional. Os resultados são demonstrados na Tabela 5.

**Tabela 5** Nível de emissão de dióxido de carbono emitido pelos países selecionados para o ano de 2012, nos cenários propostos.

Países	Emissão de CO <sub>2</sub> em 2003. 1.000 ton.	Cenário I		Cenário II		Cenário III	
		Emissão de CO <sub>2</sub> 1.000 ton.	Δ %	Emissão de CO <sub>2</sub> 1.000 ton.	Δ %	Emissão de CO <sub>2</sub> 1.000 ton.	Δ %
África do Sul	411.251	830.536	101,95	587.925	42,96	379.300	-7,77
Argentina	129.515	195.455	50,91	138.360	6,83	89.263	-31,08
Brasil	351.464	609.305	73,36	431.318	22,72	278.265	-20,83
China	3.540.973	12.293.721	247,18	8.702.551	145,77	5.614.455	58,56
Índia	1.024.828	2.729.103	166,30	1.931.893	88,51	1.246.362	21,62
México	404.717	684.323	69,09	484.423	19,69	312.525	-22,78
Mundo	25.143.277	55.112.642	119,19	39.013.460	55,16	25.169.553	0,1

Fonte dados brutos: Banco Mundial, 2007, Euromonitor International 2007 e CGSDI, 2007.

No Cenário I, em que é considerada a manutenção do padrão atual de consumo de combustíveis fósseis, os resultados indicam crescimento significativo das emissões de CO<sub>2</sub>. Quando se compara com os níveis registrados em 2003, o aumento previsto para 2012 foi de 182,10% para o conjunto dos países. A China é o país em pior situação, devido a sua taxa de crescimento econômico superior a dos demais países e também da composição de sua matriz energética, em que 77,13% das emissões provêm da utilização do carvão. A participação das emissões por fontes energéticas fósseis é apresentada na tabela 6.

A Índia, em razão da sua elevada taxa de crescimento econômico, do aumento populacional acima da média mundial e da grande participação do carvão em sua matriz energética, 64,98%, aparece como o país de segundo maior aumento das emissões, mesmo possuindo intensidades de energia e de dióxido de carbono inferiores aos outros países. Em seguida, a África do Sul, também registrou expansão significativa em suas emissões, de 101,95%, explicada pelo elevado coeficiente de intensidade energética e de CO<sub>2</sub>, proveniente da grande utilização de carvão e tecnologias de elevado potencial poluidor.

O Brasil apresentou aumento de 73,36% em suas emissões, explicada pela participação preponderante do petróleo como combustível fóssil: 78,50%. O país é o que possui a menor utilização de gás natural, de apenas 8,90%. O México registrou expansão de 69,09% em razão de sua intensidade energética, considerada relativamente baixa. Por fim, Argentina é o país de menor variação em suas emissões. Este fato é devido à elevada utilização do gás natural como fonte energética e a baixa intensidade energética, 0,14.

**Tabela 6** Participação das emissões de CO<sub>2</sub> para os países selecionados, em 2003, por fonte energética, em %.

Países	Gás natural	Carvão	Petróleo
África do Sul	1,19	81,90	16,91
Argentina	53,21	1,25	45,54
Brasil	8,90	12,59	78,51
China	2,05	77,13	20,82
Índia	5,23	64,98	29,79
México	25,89	9,83	64,28
Mundo	21,26	37,00	41,74

Fonte dados brutos: Euromonitor International 2007.

No Cenário II, que considera as taxas de crescimentos econômico, populacional e da intensidade de CO<sub>2</sub> constantes e a redução de 0,92% da

intensidade de energia, o aumento das emissões para o conjunto dos países foi de 99,69%. Este resultado é possível apenas mediante a adoção de novas tecnologias e a transformação da matriz energética, reduzindo a dependência do carvão e do petróleo, por exemplo, e ampliando a utilização de combustíveis renováveis. Neste cenário, o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> é maior na China, registrando acréscimo de 145,77%, seguido pela Índia, com 88,51% e África do Sul, com 42,96%. Estes três países são os que emitem o maior percentual de emissões de CO<sub>2</sub> proveniente do carvão. A Argentina é o país que sofrerá a menor ampliação das emissões, seguida pelo Brasil e México.

Por fim, no cenário III, tentou-se representar a necessidade de redução das intensidades energéticas e de dióxido de carbono para manter o crescimento econômico e populacional constante e ainda permanecer com níveis de emissões mundiais similares aos registrados em 2003. Mesmo assim, no conjunto dos países pesquisados, o acréscimo das emissões é de 28,83%. A China e a Índia continuarão com emissões positivas de 58,56%, e 21,62% respectivamente, justificadas pelos elevados crescimentos econômicos registrados. Os demais países apresentarão queda. O Brasil, por exemplo, com o aumento da eficiência energética e a substituição de combustíveis fósseis poderá alcançar níveis de emissão 20,83% inferiores aos registrados em 2003. Esta redução está bem próxima do potencial de diminuição do México, de 22,78%. Já a Argentina é o país que melhores resultados obterá com a adoção de novas fontes renováveis de energia e tecnologias limpas.

## **5 CONCLUSÕES**

Ao longo deste trabalho procurou-se estimar as emissões de CO<sub>2</sub> para países em desenvolvimento selecionados para o ano de 2012, com o objetivo de discutir a participação destes países nos esforços de redução das emissões de gases que intensificam o aquecimento terrestre. Nas negociações para a continuidade do Protocolo de Quioto, a partir de 2012, é proposto que a meta de redução imposta aos países desenvolvidos também seja estendida aos países em desenvolvimento.

Os resultados obtidos, a partir da simulação de cenários aplicados à metodologia proposta, indicam que mantida as condições atuais de crescimento econômico e populacional bem como a matriz energética e a tecnologia utilizadas nos países selecionados, o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, projetado para 2012, tenderá a aumentar a taxas crescentes.

Segundo Gutierrez e Mendonça (2000), somente será possível manter as taxas de crescimento populacional e de PIB associadas a uma diminuição das emissões dos gases se houver uma redução na intensidade energética e na intensidade de dióxido de carbono nas atividades econômicas. Quanto maior for o crescimento do produto, da renda *per capita* e da população, maiores deverão ser os esforços para a redução das emissões.

Contudo, os países que apresentam taxas de crescimento econômico elevadas, como é o caso da China e da Índia, terão dificuldades em reduzir suas emissões mesmo no cenário que considera a adoção de tecnologias e energias de baixo potencial poluente. Caso aceitem participar da nova etapa do Protocolo de Quioto, pós-2012, provavelmente, estes terão que adquirir créditos de carbono dos países ofertantes.

No terceiro cenário, que considera as emissões globais constantes, países de menores expansões econômicas, Argentina, Brasil e México, conseguirão alcançar reduções significativas. Os créditos obtidos pela redução poderão ser destinados a compensar o aumento dos países que não conseguirem cumprir a meta, o que impulsionará o mercado de créditos de carbono.

No entanto, é oportuno salientar que o terceiro cenário só se confirmará com a intensiva substituição de combustíveis fósseis por outros renováveis ou de menor intensidade de CO<sub>2</sub>, como é o caso do gás natural, paralelamente a implantação de técnicas produtivas de elevado conteúdo tecnológico, que garantam a redução da intensidade energética. Este cenário só é passível de concretização através da efetividade de políticas públicas de incentivo às pesquisas e aos investimentos em áreas prioritárias, conjugada com a disposição da iniciativa privada em realizar investimentos em tecnologias de menor potencial poluidor. É necessária a substituição de fontes energéticas de maior conteúdo poluente por outras de menor e também a intensificação da eficiência energética.

A estabilização da concentração dos gases do efeito estufa requer que as emissões mundiais sejam reduzidas em 20% até 2050, chegando a menos de 1/5 dos níveis atuais. O custo para se alcançar esta meta é estimado em 1% Produto Interno Bruto mundial até o ano de 2050 e depende da implantação de políticas de mudanças climáticas efetivas (STERN, 2006).

Os custos não serão igualmente distribuídos por todos os setores e países. Aqueles que possuem atividades intensivas em emissão de gases do efeito estufa irão ser mais afetados, como é o caso dos países em desenvolvimento. Enquanto que para os países desenvolvidos a política de mudança climática poderá resultar em ganhos econômicos oriundos do processo de criação de mecanismos capazes de conter as emissões.

Neste sentido, para que os países em desenvolvimento consigam obter resultados efetivos na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, e aceitem participar da nova rodada de esforços para a diminuição do efeito estufa, haverá a necessidade de serem criados mecanismos de transferência de tecnologias e de incentivos financeiros significativos por parte dos países desenvolvidos.

Por fim, é oportuno ressaltar que o crescimento econômico sustentável requer medidas em prol da conservação ambiental. Os países em desenvolvimento, ao renegar esforços para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> poderão estar prejudicando seu próprio desenvolvimento futuro. O aquecimento terrestre, em última instância, imporá a administração de catástrofes ambientais de elevadas proporções, que poderá por em risco todo o crescimento econômico obtido até então.

## **ABSTRACT**

The main aim of this paper is to evaluate the emissions of carbon dioxide in 2012 as consequence of economic activities in developing countries (South Africa, Argentina, Brazil, China, India and Mexico). To achieve this purpose, we appraise the causes of global warm and the main uses of fossil fuels and how these factors affect the world economy. Then we estimate the CO<sub>2</sub> emissions in three alternatives scenarios, using Kaya identity. In the three scenarios was

consider the economic growth and increase in population equal to period 2000-05. In each scenario, we try to evaluate the effects of reducing the index of energy intensity and CO<sub>2</sub>. As a result, even in the scenario where we simulate major changes in renewable energy and the use of appropriate technologies, it was not feasible to reduce the level of CO<sub>2</sub> emissions in all the countries.

**Keywords:** emissions of CO<sub>2</sub>, fossil fuel, Kaya Identity.

**JEL classification:** Q32, Q39

## NOTAS

<sup>1</sup> Economista. Mestranda em Desenvolvimento Econômico pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul / PUCRS. Endereço: Rua Pedro C. Barcelos, 427/501. Porto Alegre – RS. Brasil. E-mail: fernanda.santin@terra.com.br.

<sup>2</sup> Doutor em Economia pela UFRGS e Pós-Doutorado pela Universidade de Massey, NZ. Professor do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Economia na PUCRS. Endereço: Av. Ipiranga, 6681, Prédio 50, sala 1001. Partenon, Porto Alegre – RS. Brasil. E-mail: augusto.alvim@puccrs.br.

<sup>3</sup> Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Canadá, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Estônia, Rússia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia, Suécia e Suíça.

<sup>4</sup> É válido esclarecer que nos países em desenvolvimento, em que a produção agrícola e a modificação da cobertura vegetal nativa são intensas, uma parte relativamente elevada das emissões é resultante destas atividades. Contudo, o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> proveniente da queima de combustíveis fósseis vem apresentado aumento persistente nestes países, sem perspectivas de se estabilizarem.

<sup>5</sup> Para o período pós-2012, a Convenção das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (2006) negocia a inclusão dos países em desenvolvimento que emitem quantidades significativas de dióxido de carbono. Entretanto, muitos destes países, inclusive o Brasil, ainda não aceitam o estabelecimento de compromissos adicionais além de medidas voluntárias.

## REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. Disponível em:  
<http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/0,,menuPK:476823~pagePK:64165236~piPK:64165141~theSitePK:469372,00.html>. Acesso em julho de 2007.

\_\_\_\_\_. **Managing Climate Risk: Integrating Adaptation into World Bank Group Operations. 2006.** Disponível em:  
<http://siteresources.worldbank.org/GLOBALENVIRONMENTFACILITYGEFOPERATIONS/Resources/Publications-Presentations/GEFAdaptationAug06.pdf>. Acesso em maio de 2007.

BNDES. Efeito estufa e a Convenção sobre Mudanças Climáticas, 1999. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/especial/clima.pdf>. Acesso em abril de 2007.

CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER – CDIAC. Disponível em: <http://cdiac.ornl.gov/>. Acesso em maio de 2007.

CGSDI - CONSULTATIVE GROUP ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT ÍNDICES, **DASHBOARD**. Disponível em <[www.cgsdi.org](http://www.cgsdi.org)>. Acesso em: junho de 2007.

CONFERÊNCIA DAS PARTES DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, 2006. Disponível <http://200.130.9.7/clima/negoc/Default.htm>. Acesso em junho de 2007.

CORDANI, Umberto. Geologia e Desenvolvimento. **Revista Ciência OnLine**, Ano II, nº 07. Agosto de 2003. Disponível em: <[www.cienciaonline.org](http://www.cienciaonline.org)>. Acesso em out. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **International Energy Outlook 2006**- EUA Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/>. Acesso em junho de 2007.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **International Energy Outlook 2007**- EUA Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html>. Acesso em junho de 2007.

ETHERIDGE, D.M. et al. Historical CO2 records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores" em: **A Compendium of Data on Global Change**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 1998. Disponível em: [cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html). Acesso em fev. 2007.

EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2007. Disponível em: <http://www.euromonitor.com/countryfolders.aspx>. Acesso em julho de 2007.

PROTOCOLO DE QUIOTO. The UN Framework Convention on Climate Change. 1997. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Acesso: Fev/2007

ROSA, Luiz Pingueli et al. Contribuições históricas por países nas emissões de três gases de efeito estufa. UFRGS, 2002. Disponível em: <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/2o%20relatorio%20MCT.pdf>. Acesso em fev. 2007.

ROSON, Roberto. Modelling the economic impact of climate change. Ecological and Environmental Economics Programme, University of Venice, Fondazione Eni Enrico Mattei, Italy. Working Papers Series, nº 9, 2003.

GEO - *GLOBAL ENVIRONMENT OUTLOOK*. **Estado do meio ambiente e retrospectiva política: 1972 –2002**. 2003. Disponível em: [www2.ibama.gov.br/~geobr/geo3-port/geo3port/cap2\\_%20terra.pdf](http://www2.ibama.gov.br/~geobr/geo3-port/geo3port/cap2_%20terra.pdf). Acesso em fevereiro de 2005.

GUTIERREZ, Maria B.; MENDONÇA, Mário Jorge C. O efeito estufa e o setor energético brasileiro. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Texto para discussão Nº 719**. Rio de Janeiro, abril de 2000. Disponível em [http://www.ipea.gov.br/pub/td/2000/td\\_0719.pdf](http://www.ipea.gov.br/pub/td/2000/td_0719.pdf)

IBPS - INSTITUTO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E DIREITO AMBIENTAL. Disponível em [www.ibps.com.br](http://www.ibps.com.br). Acesso em outubro de 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Aspectos Regionais e Setoriais da Contribuição do Grupo de Trabalho II ao 4º Relatório de Avaliação "Mudança Climática 2007" do IPCC. 2007. Disponível em: <http://www.iea.usp.br/iea/online/midioteca/mudglobais/index.html>. Acesso em julho de 2007.

\_\_\_\_\_. IPCC Special Report on Emissions Scenarios , 1992. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/034.htm>. Acesso em maio de 2007.

\_\_\_\_\_. Greenhouse gas inventories: **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual**. Bracknell: United Kingdom Metereogical Office, Inglaterra, 1995.

KAPPEL, R; STAUB, P.; GRÜNTTER. J.M. Simulating the market for greenhouse gas emission reductions: **the CERT model**. Heldswil: Grütter Consulting, 2002.

KAYA, Y. et al. **Impact of carbon dioxide emission control on gnp growth**: interpretation of proposed scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change Energy and Industry Subgroup Meeting, Genebra, 1989.

MACK, M.C., *et al.* 2004. Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. Revista **Nature** **431**(Sept. 23):440–443. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02887>. Acesso em maio de 2007.

MARLAND, G., BODEN, Boden, ANDRES, R. J. "Global, Regional, and National CO<sub>2</sub> Emissions." Em: **A Compendium of Data on Global Change**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2003  
[http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob.htm](http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm)

MURASSAWA, M. Mendes. Aquecimento global: ficção *versus* realidade. Disponível em <[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>. Acesso em dezembro de 2004.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*. *Glaciers surge when ice shelf breaks up*. Disponível em <<http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2004/0913larsen.html>>. Acesso em dezembro de 2004.

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*, EUA.  
Disponível em <<http://www.noaa.gov>>. Acesso em dezembro de 2004.

PASTUCO, João A. M. Planejamento de Longo Prazo. **Revista Economia e Energia**, nº35, nov-dez 2002. Disponível em:  
<http://ecen.com/eee35/planej-log-praz.htm>. Acesso em mar 2007

PINHEIRO, Flavio Cotrim. Mudança Global do Clima: **ciência e políticas públicas**. Revista Ciência Moleculares, nº2. Dezembro de 20 05. Disponível em  
[http://revista.cecm.usp.br/arquivo/2005dez/artigos/mudancas\\_climaticas](http://revista.cecm.usp.br/arquivo/2005dez/artigos/mudancas_climaticas)

*proposed scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change Energy and Industry Subgroup Meeting, Genebra, 1989.

SANTIN, Maria Fernanda. Vulnerabilidades ambientais e implicações para o desenvolvimento sustentável. **Revista Análise**.

<http://caioba.pucrs.br/face/ojs/viewissue.php>

STERN, Nicholas. Stern Review Report on the Economics of Climate Change. 2006. Disponível em : [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm). Acesso em fev. 2007.

THE INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2006. Energy Information Administration. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/> . Acesso em mar. 2007.

YOUNG, C. **Trade and the Environment**: Linkages between Competitiveness and Industrial Pollution in Brazil, in: Munasinghe, M. (ed.) Report to the Research Project Making Long-Term Growth More Sustainable: Brazil Country Case Study, The World Bank, Washington, 2002.