

O EFEITO ESTUFA E A REDUÇÃO DE CO₂: A ESTIMAÇÃO DO PONTO ÓTIMO SOCIAL GLOBAL¹

Maria Bernadete Sarmiento Gutierrez²
Mário Jorge Cardoso de Mendonça³

RESUMO

Ao longo do debate a respeito da questão da mudança climática se tem procurado definir o nível de redução global nas emissões de gases de efeito estufa compatível com o crescimento sustentável dos países. O Protocolo de Quioto postula, como política ótima, uma redução em média de 5,2% das emissões do grupo dos países desenvolvidos até o ano 2012, tomando como base as emissões de 1990, isentando os países em desenvolvimento de compromissos de redução.

Esse trabalho tem como objetivo central o cálculo do nível ótimo de redução global a partir da análise de equilíbrio intertemporal, onde a política de redução das emissões está relacionada com o comportamento racional dos agentes. Tomando-se ainda o fato que muitos parâmetros, inclusive de modo exógeno na análise, foram obtidos em condições de incerteza, o que se faz é aplicar um estudo de análise de sensibilidade de modo a obter uma região de confiança para esse nível ótimo.

Ao final do trabalho é feita uma análise comparativa, visando chamar a atenção para o fato de que o nível de redução determinado pelo Protocolo de Quioto pode não ser aquele que garanta o desenvolvimento sustentável das nações em desenvolvimento.

1 INTRODUÇÃO

Os efeitos adversos da atividade econômica sobre o meio ambiente se fazem sentir não só localmente, mas também em âmbito global. Como exemplos de poluição global destacam-se os conhecidos fenômenos da destruição da camada de ozônio, resultante da emissão dos clorofluorcarbonos (CFCs) e o chamado efeito estufa.

O efeito estufa refere-se à progressiva elevação da temperatura média da atmosfera terrestre, como consequência da crescente concentração de gases conhecidos como GHG (*greenhouse gases*), que incluem o dióxido de carbono, CO₂, que é o principal componente, o metano, os gases do tipo CFC,

1 Os autores agradecem os comentários de dois pareceristas anônimos.

2 Técnica de Planejamento e Pesquisa do IPEA cedida à OECD.

3 Técnico de Planejamento e Pesquisa do IPEA.

óxido de nitrogênio, dentre outros de menor participação. Esses gases são emitidos como um subproduto da atividade econômica, com destaque para as atividades da produção e do consumo de combustíveis fósseis, o desmatamento e as atividades agrícolas em geral. A mudança de clima devido à maior concentração desses gases de efeito estufa na atmosfera gera inúmeros possíveis impactos nocivos ao meio ambiente. Como exemplos pode-se citar as alterações dos períodos de colheita, a perda de área cultivável proveniente da elevação dos níveis dos oceanos *etc.*

A teoria do efeito estufa é conhecida há mais de um século. Já em 1863, Tyndall sugeriu que pequenas alterações na composição atmosférica poderiam alterar o clima. Svante Arrhenius, em 1896, estimou a primeira quantificação desse efeito: a duplicação da concentração de CO₂ na atmosfera elevaria a temperatura média global numa faixa de 4 a 6°C. Até a década dos anos 80, a questão do efeito estufa não foi posta na agenda internacional de negociações como de elevada prioridade. Por exemplo, a elevação da temperatura na década dos 30 foi compensada pela sua redução na década seguinte. Por outro lado, foi sugerido que a camada superior dos oceanos poderia absorver o CO₂ emitido, o que posteriormente foi contradito por Revelle, Suess (1957). De qualquer forma, importa ressaltar que, apesar do reconhecimento científico da existência e da importância do efeito estufa, parecia que não havia necessidade de uma atuação conjunta internacional para enfrentá-lo, permanecendo a dúvida sobre se a natureza por si só poderia prover os mecanismos de correção do referido efeito.

Somente na década dos 80 é que o Mundo adquire a consciência da necessidade de ação específica conjunta para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa. Alguns fatos parecem ter levado a esta mudança de atitude: o desenvolvimento e a utilização por climatologistas de modelos de circulação geral corroboravam a existência do efeito estufa; cientistas apontavam que outros gases poderiam também contribuir para a ocorrência do fenômeno do efeito estufa. Em 1988, foi criado o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), no âmbito da Unep (*United Nations Environmental Programme*) e a WMO (*World Meteorological Organization*), que reúne esforços de pesquisa de aproximadamente 170 cientistas de 25 diferentes países, com o objetivo de fazer previsões sobre a evolução média num contexto de elevação dos gases GHG. Ainda que haja evidência científica no sentido da existência do efeito estufa, permanece um considerável grau de incerteza sobre a real extensão dos seus efeitos numa perspectiva de longo prazo, seus efeitos econômicos, assim como a incidência regional dos mesmos. Entretanto é fato consumado hoje que esta incerteza não é motivo para a não-tomada de ações para combater o efeito estufa. O tema já ganhou prioridade na agenda de cooperação internacional e estudos destinados ao seu melhor conhecimento justificam-se.

As negociações internacionais no sentido desta começaram na UNCED (*United Nations Conference on Environment and Development*), no Rio de Janeiro, em 1992. O objeto principal dessa conferência era estabelecer um acordo com o propósito de estabilizar o nível de concentração de gases de efeito estufa que tornaria possível prevenir os danos ambientais decorrentes da interferência antropogênica no sistema climático. Entretanto, por falta de uma maior vontade política e num contexto de incerteza científica ainda maior sobre a extensão dos reais efeitos, poucos resultados concretos foram alcançados. Do evento, resultou a Agenda 21, que prioriza a necessidade de cooperação internacional para tratar do efeito estufa.

Somente mais tarde, no âmbito da Convenção Quadro da Mudança de Clima, o primeiro resultado importante alcançado foi o estabelecimento do Protocolo de Quioto (dezembro de 1997) pelos diferentes países. Este Protocolo estabelece obrigações diferenciadas de redução dos gases efeito estufa para determinados países (Anexo 1), a serem alcançadas até o período 2008-2012, isentando de tal compromisso a maioria dos países em desenvolvimento. Na média, o percentual de redução para os países do Anexo 1 se situa em 5%. Esta solução foi a expressão do reconhecimento de que esses países pouco emitiram no passado, portanto sua responsabilidade para a existência do fenômeno é limitada.

Neste contexto, esse trabalho centra-se em duas questões principais. A primeira diz respeito à estimação do nível ótimo de redução de redução de CO₂. A segunda tece uma comparação entre o nível de redução estabelecido pelo Protocolo de Quioto com as estimativas geradas nesse trabalho.

Conceitualmente, o ponto ótimo de redução é definido como sendo aquele que geraria o maior benefício econômico líquido descontado, benefício esse decorrente da diferença entre o custo de ajustamento que a economia teria de arcar de modo a adequar o aparelho produtivo à condição de emitir menos e os ganhos futuros que a sociedade teria em virtude do menor impacto negativo causado ao meio ambiente, tendo em vista a retração das emissões de gases efeito estufa.

A intuição que está por trás do fato em somente se trabalhar com o CO₂ recai nos seguintes motivos: primeiro, ser o CO₂ o mais importante gás de efeito estufa; segundo, já se observar atualmente que, por força da inovação tecnológica, ou os mecanismos de geração dos outros gases de efeito estufa estão sendo substituídos por outros mais limpos, ou está se implantando nas unidades produtivas meios de não permitir que tais resíduos inundem a atmosfera (tecnologias específicas). Mesmo no longo prazo nada parece indicar uma mudança na prevalência do CO₂ como o principal causador do efeito estufa. Isso é devido ao fato desse gás se originar como resíduo da combustão da grande parte das mais importantes fontes geradoras de energia, que são os combustíveis fósseis: petróleo, gás natural e carvão.

Embora, possa haver substitutos para elas, em algumas aplicações, no grupo dos renováveis. Essa mudança é improvável que aconteça por fatores ligados à viabilidade econômica.

Para levar a cabo essa análise, a estrutura deste trabalho é posta da seguinte maneira: a seção dois apresenta os aspectos teóricos relativos à análise econômica do efeito estufa. Ela oferece subsídios para que se possa determinar o nível economicamente ótimo de redução de emissões dos gases de efeito estufa com base no critério das análises das funções de custo de abatimento e de dano ambiental. Essa seção segue de perto a análise elaborada por Nordhaus (1991a). As seções três e quatro concentram-se, respectivamente, na análise das formas operacionais das funções de dano marginal e custo marginal de redução de CO₂. A função de dano marginal de emissão que é introduzida na seção três é uma versão modificada daquela apresentada em Azar, Sterner (1996). A seção cinco estima o percentual ótimo de redução de CO₂. Dado o grau de incerteza inerente a alguns parâmetros, optou-se por aplicar a técnica de análise de sensibilidade com o objetivo de observar como reagem o dano marginal e o percentual ótimo de redução devido à mudança de certos parâmetros. Conforme será mostrado, tanto o dano como o nível eficiente de redução se mostram mais sensíveis a alterações da taxa de desconto intertemporal que aos parâmetros técnicos do modelo. Na seção seis, o Protocolo de Quioto é avaliado à luz de seus fundamentos e de suas principais características. Analisa-se nessa seção se o percentual médio de 5% acordado no Protocolo de Quioto para os países incluídos no Anexo 1, seria suficiente para compensar a liberdade de emitir para os países não pertencentes ao Anexo 1. Finalmente, na seção sete, com base no exercício elaborado na seção anterior, onde se mostra que mesmo tendo em vista o cenário mais otimista, construído a partir de uma taxa de desconto bastante elevada, o nível de redução posto pelo Protocolo de Quioto para os países membros pode não ser o ideal para compensar a restrição de emissão dos países que não aparecem no Anexo 1. Nesse sentido, procura-se mostrar, por meio de diversas ilustrações, a ameaça que a mudança climática poderia significar principalmente para os países em desenvolvimento. Nesse sentido, o principal apelo dessa seção é a tomada de consciência por parte dos países em desenvolvimento para que criem mecanismos para controlar suas emissões.

2 MODELO DE ANÁLISE DE CUSTO E BENEFÍCIO DA REDUÇÃO DE GASES EFEITO ESTUFA

A determinação exata do nível ótimo exato de redução é uma tarefa que não pode ser plenamente efetuada, na medida que a questão acerca da mudança de clima e suas conseqüências ao meio ambiente estão longe de

estarem resolvidas. Qualquer modelo que objetive caracterizar o comportamento climático e seus impactos ambientais carrega consigo uma margem de incerteza elevada, o que faz com que os resultados devam ser qualificados de forma apropriada em cada contexto. Entretanto, torna-se extremamente importante a análise da economia do efeito estufa, não somente pelos seus conceitos fundamentais, mas também para obter estimativas agregadas sobre o nível ótimo de redução de CO₂. Cabe observar que as estimativas a serem obtidas são altamente agregadas mas, nem por isso, menos importantes. A maior disponibilidade de informações no futuro poderia permitir a obtenção de estimativas por países.

A determinação do nível de redução ótima, no estudo aqui implementado, será baseado no cálculo de duas funções fundamentais: a função de dano ambiental, que descreve o custo para a sociedade devido à mudança de clima e a função de custo de abatimento, representando o custo que a economia teria de incorrer para minimizar o fenômeno da alteração climática. Como exemplo de danos ambientais podemos citar: as alterações incorridas nos períodos de colheita na agricultura, perda de área cultivável advinda da elevação do nível dos oceanos *etc.* No que se refere aos custos de redução de emissão têm-se como os mais prementes a substituição de combustíveis fósseis por não-fósseis, a construção de diques, o uso de substâncias substitutas para os gases CFCs *etc.*

Tendo introduzido essas considerações preliminares o caminho a ser seguido é tentar estabelecer um método que permita descobrir o percentual de redução que minimizaria os impactos da mudança de clima. Este nível ótimo de redução seria aquele que geraria o máximo bem-estar líquido descontado, o qual também já levaria em conta todos os bens e os serviços valorados ou não pelo mercado, incluindo além disso todas as externalidades advindas da atividade econômica. Assim, tendo em vista que se trata de um problema formal de maximização intertemporal, o nível ótimo de redução se dá no ponto onde existe equilíbrio entre o custo de uma unidade a menos de emissão de CO₂ e o benefício marginal descontado decorrente em se deixar de emitir a mesma unidade de CO₂.

Com o intuito prático de facilitar a mensuração, restringiremos a análise de emissões de gases efeito estufa à quantidade emitida de CO₂. A Figura 1 resume graficamente a idéia introduzida do parágrafo precedente. A curva com inclinação positiva representa a função de custo marginal de abatimento, que indica o custo de ajustamento que a sociedade teria que incorrer advindo do fato de ter que diminuir a emissão de CO₂ em uma unidade.

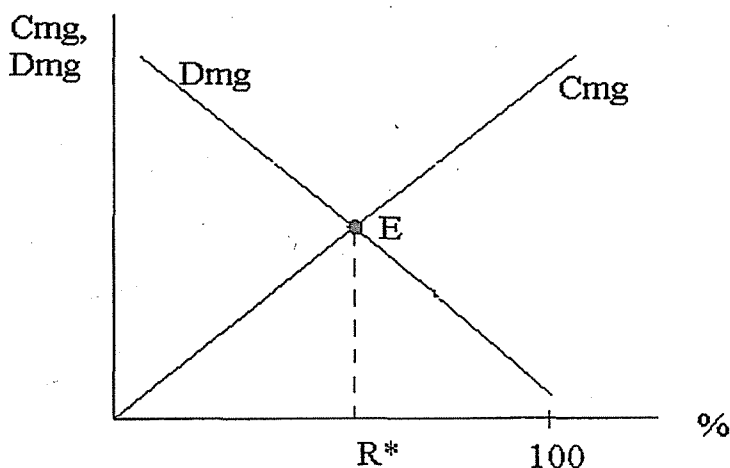


Figura 1: Gráfico das curvas de custo marginal de abatimento e de dano marginal de emissão de $\text{CO}_2 \times$ o percentual de redução de CO_2

Na Figura 1 tem-se uma curva com inclinação negativa que espelha a função marginal de dano ambiental que diz respeito ao prejuízo econômico, trazido ao valor presente, imposto ao meio ambiente decorrente da mudança de clima imposta por uma unidade a mais de CO_2 emitido. Nesse gráfico, o eixo horizontal mede a porcentagem de CO_2 abatido. Essa variável tem valor zero quando não há controle sobre a quantidade de CO_2 emitida. Uma vez tendo introduzido o aparato gráfico relativo às duas funções, temos então que elucidar os argumentos implícitos que fazem com essas relações tenham aproximadamente a forma mostrada na Figura 1. A análise primeiramente recai sobre a função de custo marginal de abatimento. Tomando por base a teoria econômica, podemos derivar certas propriedades relativas à forma da função de custo marginal de abatimento. Primeiro no ponto onde não existe nenhum controle sobre a emissão seu valor é zero. Isso significa que as primeiras unidades de redução são virtualmente livres e o preço de mercado para a quantidade não-controlada é zero. Segundo, é um procedimento razoável assumir que a função de custo é crescente no argumento. Por fim, a sociedade faria pior se impusesse outra forma de regular o volume de emissão. O argumento implícito nessa última afirmação é que as firmas calculam o custo marginal de redução a partir de uma função de custo aos moldes da Microeconomia, que daria o custo mínimo condicionado para diversos percentuais de redução de emissão de gases efeito estufa.

Passemos em seguida à análise teórica da função de dano ambiental. Essa função mede a perda econômica decorrente das alterações sofridas pelo meio ambiente advindas do aquecimento do clima em virtude da elevada concentração de gases efeito provenientes das emissões antropogênicas além do seu nível eficiente. Diferentemente da função de custo de abatimento, sua determinação guarda um considerável grau de incerteza na medida que pouco se sabe ainda concretamente a respeito da forma como se efetua as modificações ambientais em virtude da mudança climática, e, ainda mais, não existe um modo de se saber ao certo qual impacto exato no clima que decorre da mudança na concentração de gases efeito estufa. Por exemplo, existe consenso quanto ao impacto negativo que pode sofrer a economia global frente ao crescimento da concentração de gases efeito estufa, contudo, devido ao efeito fertilizante do CO₂ ou mesmo pelo aumento da atratividade de certas regiões por consequência da elevação da temperatura, os efeitos adversos podem ser equilibrados. Admite-se entretanto que o efeito líquido proveniente das vantagens e desvantagens do aumento da concentração dos gases efeito estufa é negativo. O entendimento dessa afirmação ficará mais claro na seção 7. Nela se verá que embora a elevação da temperatura advinda do efeito estufa possa ser benéfica para regiões de clima frio, decorrente da possível melhora que possa haver nas condições para a produção no setor agrícola. Na maior parte dos casos o que se tem sentido é que o resultado da mudança climática trará de fato prejuízo, sobretudo para os países pobres e em desenvolvimento. Sendo assim, a relação que rege o dano marginal ambiental e o percentual de redução de CO₂ e outros gases relacionados pode ser expressa por uma função com inclinação negativa.

O ponto E na Figura 1 determinado pela intercessão das duas curvas expressa o nível eficiente de redução de emissão. Nesse ponto, o custo marginal de abatimento se iguala ao dano marginal de emissão. Posto de forma diferente, pode-se dizer que para o percentual de redução dado pelo ponto E, o adicional de custo devido ao controle da emissão é exatamente contrabalançado pela diminuição do prejuízo econômico decorrente de um impacto menor sofrido pelo meio ambiente.

3 O PREJUÍZO ECONÔMICO DO EFEITO ESTUFA

A função de dano marginal de uma unidade de emissão de CO₂ pode ser expressa por (Azar, Sterner, 1996):

$$Dmg = \int_0^{\infty} G(t) \frac{\partial D(m_h)}{\partial m_h} V(t) dt \quad (1)$$

onde: $G(t)$ é a fração da unidade de CO_2 que permanece na atmosfera no tempo t ; $D(m_h)$ é a função de dano ambiental em relação ao nível de concentração antropogênica atual de CO_2 , m_h ; $V(t)$ e o índice que traz a função de dano marginal ao valor presente. Vamos trabalhar com uma função de custo linear do tipo:

$$D[k, m_h(t), Y(t)] = k \frac{m_h(t)}{m_p^p} Y(t) \quad (2)$$

onde: D é o dano total, k é a fração da renda que será perdida caso seja duplicado o nível de CO_2 na atmosfera, Y a renda que flutua ao longo do tempo e m_p o nível duplicado da concentração pré-industrial de CO_2 .

Em geral, os estudos que tratam da estimação do dano ambiental provocado pelas emissões de CO_2 restringem a análise tendo em vista o caso de equilíbrio, isto é, o percentual da renda relativa ao dano, k , é calculado tomando como base a duplicação de um nível referencial de concentração de CO_2 . Em alguns trabalhos esse nível referencial aparece denominado como "concentração pré-industrial" de CO_2 .

Em relação à função de dano (2), sua idéia básica pode ser entendida tomando, $m_h = m_p$. Nesse caso, a valor que se perde da renda é igual ao percentual k do produto. É assumido, ainda, que a renda global cresce a uma taxa igual à taxa de crescimento da população mais a de progresso técnico. Esse fato decorre da hipótese de que o modelo para a economia como um todo é o de crescimento neoclássico ampliado com progresso técnico exógeno e ainda que a economia se encontra em estado estacionário. Assim, o produto pode ser expresso da seguinte maneira, onde Y_0 é a renda do período inicial:

$$Y(t) = Y_0 \exp(\mu + \eta)t$$

Embora a forma funcional assumida para a função seja basicamente simples essa característica traz consigo algumas vantagens. Dentre muitas delas, duas merecem maior destaque. Primeira, ela permite uma análise transparente, no sentido de que seus argumentos estão nitidamente explicitados. Segunda, não compensa a introdução de aspectos complexos, na medida sobre os quais permanece um elevado grau de incerteza. Por outro lado, não se leva em consideração o tempo de defasagem entre o aumento da concentração atmosférica de gases efeito estufa e o equilíbrio térmico, e nem o dano que dependeria da taxa de mudança climática. Uma relação linear entre dano e o nível de emissão antropogênica já tem sido usada em outros trabalhos. Cline (1992) estima k como sendo igual a 1,5 %. Outras relações mais complexas têm sido usadas na análise da função de dano. Nourdhaus

(1993) trabalha com uma função de dano que é proporcional ao quadrado da mudança média global de temperatura. Estudos mais recentes mostram que as variações regionais do dano devido à duplicação da concentração pré-industrial de CO₂ podem ser substanciais, chegando a estarem entre 1 e 9% (IPCC, 1996). No entanto, para a média global, prevalece ainda hoje o valor utilizado por Cline.

De forma a analisar a relação que mensura a fração da unidade de carbono que permanece retida na atmosfera por unidade de tempo, pode-se utilizar de uma aproximação do modelo MRH de Maier-Reimer, Hasselman (1987). Estima-se que, no longo prazo, aproximadamente 15% do carbono emitido permaneça na atmosfera. No entanto, esse percentual não é constante, crescendo conforme aumenta a concentração de CO₂. Sabe-se, ainda, que o principal meio de absorção de CO₂ é feito pelos oceanos, contudo esse gás pode ser também absorvido pela biomassa (via fotossíntese). Esse processo se amplia à medida que a biomassa aumenta. Existe evidência de uma relação crescente entre a biomassa e a taxa de carbono estocado como consequência da emissão acumulada de CO₂, porém ainda é bastante incerto o grau de conhecimento desse fenômeno. O modelo MRH trabalha apenas com a interação entre a atmosfera e os oceanos. Esse modelo para o tipo de análise que é posta aqui é muito complexo, e sua introdução na função (1) se tornaria muito complicada. Nesse caso o que se faz é trabalhar com um modelo alternativo, cuja forma funcional é facilmente adaptável à função de dano marginal. A simplificação que será utilizada aqui, seguindo o trabalho de Nordhaus (1991a) consiste em obter uma forma aproximada para o modelo MRH tal como apresentada abaixo:

$$G(t) = \beta \exp(-\gamma t) \quad (3)$$

A partir de uma dada série de valores gerados pelo modelo MRH, estima-se os parâmetros da função (3) por mínimos quadrados ordinários. Nesse caso, tem-se que β e γ são, respectivamente, a fração de CO₂ que fica imediatamente retida na atmosfera e a taxa de remoção desse gás. Naturalmente os parâmetros da função (3) variam de acordo com o horizonte temporal com que se trabalha. Azar (1995), estima dois conjuntos diferentes para os parâmetros de (3) dado pelos períodos de tempo de quatrocentos e mil anos, sendo que os valores obtidos para os pares de (β , γ) foram respectivamente (0,56; 0,003) e (0,4; 0,001). Nordhaus (1993), usando o mesmo método para um horizonte de tempo de apenas dois séculos estima os valores de β e γ como iguais a (0,64; 0,008). No entanto, como assinalam Azar, Sterner (1996), essa aproximação subestima a retenção atmosférica de CO₂.

Por fim, de modo a compor a função de dano marginal de emissão, temos que definir o fator $V(t)$ que gera o valor presente dessa função.

Em geral, quando se avaliam as entradas líquidas futuras relacionadas a determinada atividade econômica, o que se faz é descontar essas parcelas por uma taxa constante definida exogenamente. Em muitos casos, toma-se a taxa de juros de longo prazo em atividades de maior maturação. No entanto, esse é um procedimento não muito apropriado para a análise em questão, pelo menos, por dois motivos. Primeiro, como o problema em foco envolve externalidade, o mais sensato então seria usar uma taxa de desconto que leve em consideração o custo social envolvido. Segundo, o horizonte temporal na qual mais se aplica a técnica de descontar as parcelas futuras a uma taxa exógena é bastante curto em relação ao problema aqui abordado, o que significa que, mesmo que haja coincidência entre a taxa pela qual a sociedade desconta o futuro e aquela usada num período mais longo, nada garante que essa situação irá se perpetuar. Pode ocorrer que as duas divirjam caso o horizonte de tempo se estenda. De modo que se possa encontrar uma taxa de juros relevante é necessário que se incorpore à análise argumentos econômicos legítimos, onde os agentes executam suas decisões com base em fundamentos microeconômicos. Isso pode ser feito, por exemplo, com o uso de um modelo de crescimento ótimo com progresso técnico exógeno. Esse modelo tem como uma de suas principais implicações o fato de que, no longo prazo, ou em equilíbrio estacionário, as relações *per capita* da economia crescem a uma taxa constante e igual à taxa de progresso tecnológico. Nesse caso, pode-se deduzir a trajetória da taxa de juros por meio da conhecida regra de Ramsey (Barro, Sala-i-Martini, 1995), que é dada do seguinte modo:

$$-\frac{u''[c(t)]}{u'[c(t)]} \dot{c} = f'[k(t)] - (\rho + \mu + \eta) \quad (4)$$

onde: c e k representam, respectivamente, os índices de consumo e capital *per-capita* normalizados por uma taxa de progresso tecnológico μ ; η a taxa de crescimento da população; f a função de produção *per-capita* e ρ a taxa de desconto intertemporal. Assumindo que os mercados operam em ambiente competitivo, temos que a taxa de juros é igual à produtividade marginal do capital, ou seja:

$$r(t) = f'[k(t)] \quad (5)$$

Desse modo é possível obter a trajetória da taxa de juros, dada então pela expressão:

$$r(t) = -\frac{u''[c(t)]}{u'[c(t)]} \dot{c} + (\mu + \eta) + \rho \quad (6)$$

Pode ser notado que num contexto mais amplo de equilíbrio intertemporal dinâmico a taxa de juros é composta de três parcelas. A primeira delas, representada pelo primeiro termo do lado direito, diz respeito ao incremento no consumo futuro ponderado pela variação da utilidade que tem como fato gerador a abstinência no presente. O segundo termo, entre parênteses, denota a taxa pela qual o produto deverá crescer para que mantenha a relação capital/trabalho constante, ou seja, o total de recursos poupado no tempo presente irá representar mais tarde aumento da riqueza. Por fim, o terceiro, expressa a taxa pela qual a sociedade desconta o tempo por si mesmo. Assim sendo, a função de valor presente é dada pela integral trazida ao valor presente da expressão que aparece em (6). Desse modo temos que:

$$V(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \left(\dot{c}(\tau) \frac{u''[c(\tau)]}{u'[c(\tau)]} + (\rho + \mu + \eta) \right) d\tau \right\} \quad (7)$$

Tomando o fato de que no longo prazo a economia alcança o estado estacionário, o que em termos formais significa que $\dot{c}(t) = 0$, pode-se escrever a expressão acima como:

$$V(t) = \exp \{ - (\rho + \mu + \eta)t \} \quad (8)$$

Substituindo as expressões obtidas em (2), (3) e (8) na função dano marginal definida em (1), chega-se finalmente à seguinte forma para essa função:

$$Dmg = \frac{k\beta Y}{m^p} \int_0^\infty \exp \{ - (\gamma + \mu + \rho + \eta)t \} dt \quad (9)$$

Resolvendo a integral acima temos então que o dano marginal ambiental, dado um determinado nível de concentração inicial de CO₂, é obtido por:

$$Dmg = \frac{k\beta}{m^p(\gamma + \rho)} Y_0 \quad (10)$$

4 CUSTO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂

Uma vez definida a função de dano ambiental marginal, a tarefa a seguir será postular uma forma para a função de custo de redução para que,

finalmente, se possa encontrar a taxa eficiente de redução da quantidade de gases efeito estufa emitido. Na seção dois foi mostrado, a nível teórico, as principais características básicas que essa função deve assumir. O tratamento aqui segue de perto a análise elaborada por Nordhaus (1991b). Nesse trabalho Nordhaus busca, a partir de diferentes enfoques, uma função de custo "consensual" que, de certo modo, poderia refletir uma estimativa para o custo de redução de emissão de CO₂ que minimizasse as deficiências contidas em cada um deles. Esse ajustamento foi obtido da seguinte forma: primeiro, por hipótese se explicita uma determinada forma funcional para a função de custo, cujas propriedades estão de acordo com os preceitos microeconômicos tais como, por exemplo, convexidade e crescimento estrito no argumento, que no caso é o percentual de redução de emissão. Segundo, listam-se as estimativas de custo decorrentes dos diversos estudos para se obter uma série de custo para cada percentual de redução. Por fim, uma vez obtida uma série de custo marginal para cada percentual, o que se faz é ajustar, por meio de regressão, essa série a uma determinada forma funcional e, desta forma, obter os parâmetros da função. Pode-se, assim, ter o custo marginal de emissão de CO₂ para qualquer percentual que se queira.

Os estudos cujo propósito é estimar o custo de abatimento de CO₂ podem ser agrupados em três categorias distintas: tecnologias específicas, estudos econométricos e modelos de equilíbrio geral. Nordhaus (1991b), no entanto, direcionou sua pesquisa para encontrar uma função "consensual" nas estimativas oriundas das duas últimas categorias. Não obstante, faremos, a seguir, um breve sumário sobre cada uma das abordagens.

O enfoque das tecnologias específicas consiste em estimar o custo de abatimento de CO₂ pela substituição de tecnologia intensa por tecnologia de baixa liberação de CO₂. Como exemplos, pode-se citar a técnica de lavagem do CO₂ e a substituição de petróleo e gasolina por metano, também conhecido como gás natural. Kram, Okken (1989) estimaram o custo de remoção por tonelada de CO₂ como estando dentro de uma faixa que varia de 55 à 120 dólares. Outra forma alternativa de substituição se dá pela utilização de gás natural como substituto direto do petróleo e do carvão na geração de energia elétrica. Contudo, essa opção tem um custo bastante elevado, podendo variar de 300 à 700 dólares (Edmunds *et al.*, 1983). Isso pode ser explicado pela necessidade de uma alta quantidade de metano muito superior àquela exigida pelo carvão e petróleo para se gerar o mesmo volume de eletricidade.

O segundo tipo de abordagem, também denominada como abordagem econômica, tem como fundamento básico compor as funções de demanda e oferta de energia a partir das quantidades e preços de mercado observados diretamente. Esses modelos são, em sua maior parte, baseados em equações comportamentais para a demanda de energia e um conjunto de

equações de oferta de energia com suposições específicas acerca da produção de energia. Tais modelos, em geral, são modelos de energia ampliados de forma a incluírem a emissão de CO₂. Nesses modelos é introduzido um imposto sobre o CO₂ emitido como meio de avaliar os impactos gerados para as diversas políticas de emissão. Existem muitos estudos que seguem essa temática. Como os principais exemplos podemos citar Nordhaus, Yole (1983), Edmunds *et al.* (1983), Jorgensem, Wilcoxon (1990). Nordhaus e Yole criaram um método de estimar o impacto no custo decorrente da imposição de um imposto sobre o CO₂ emitido. As hipóteses desse modelo são a existência de apenas dois tipos de combustíveis: carbono e não-carbono, função de produção restrita a duas categorias de insumos: energéticos e não-energéticos; e, por fim, a possibilidade de trabalhar com diversos padrões de mudanças tecnológicas. Numa versão revisada desse modelo, Nordhaus e Yole assumem que as elasticidades de substituição entre todos os insumos são unitárias e, a partir dessa simplificação, estimam os percentuais de abatimento de CO₂ para uma faixa de imposto que varia de zero a trezentos dólares. Os impostos incluídos nessa faixa representam, por sua vez, o custo marginal de emissão.

O terceiro tipo de abordagem faz uso dos modelos de equilíbrio geral como meio de estimar o impacto da redução de CO₂. Nesses modelos o setor de energia é representado em termos do equilíbrio entre as funções de demanda de energia e a factibilidade tecnológica da economia. Através do uso de técnicas de programação matemática e outros algoritmos, pode-se obter os valores pontuais ou as trajetórias eficientes, a depender do tipo de modelagem estática ou dinâmica, dos preços, produto *etc.* É ainda possível demonstrar que os valores ótimos corresponderiam aos resultados gerados num mercado perfeitamente competitivo. Além disso, essas quantidades não apenas representam os preços de um equilíbrio competitivo, como também refletem escassez decorrente do impacto da diminuição do fator. Para então conseguir cenários que possibilitam visualizar o custo de redução de emissão de CO₂ inclui-se no modelo uma restrição sobre a quantidade de CO₂ emitida sobre o setor de energia. O preço sombra associado com a restrição de CO₂ é exatamente equivalente à taxa que seria, em ambiente competitivo, necessária impor para resultar um nível de abatimento tal como imposto na restrição. Assim identifica-se o preço sombra do CO₂ como o custo marginal de emissão do mesmo modo que na abordagem anterior. Como exemplos de estudos que incorporam esse tipo de análise podemos citar Nordhaus (1977, 1979), Manne, Richels (1990), Boldlund *et al.* (1989).

Uma vez de posse das estimativas dos custos associados aos percentuais de redução oriundas das duas últimas categorias de modelos expostos acima, Nordhaus (1991) pôde então estimar sua função consensual a partir de uma forma funcional semilogarítmica tal como:

$$\ln[1 - R] = \alpha + \beta Cm \quad (11)$$

onde: R é o percentual de redução, Cm o custo marginal de abatimento de CO_2 em dólares de 1989 por tonelada de CO_2 , α e β parâmetros.

O ajustamento dos dados a essa função por meio de regressão simples permitiu encontrar uma forma final para a função de custo de abatimento tal como:

$$\ln[1 - R] = -0,0223 - 0,0054Cm \quad (12)$$

5 ESTIMAÇÃO DO PERCENTUAL ÓTIMO DE REDUÇÃO

As duas seções anteriores trataram de introduzir as formas operacionais das funções marginais de dano ambiental e de custo de abatimento, com o objetivo principal de determinar o ponto ótimo global de redução de CO_2 . Como já foi mostrado nesse trabalho, o nível eficiente de redução se dá no ponto onde os valores para essas duas funções são iguais. Pode-se ainda perceber pela equação (10) que o dano marginal é constante para qualquer que seja o percentual de redução. Isso se deve à forma funcional escolhida para a função de dano, proposta na equação (2). Nesse caso, a tarefa de determinar o nível ótimo fica reduzida a obter o valor gerado em (10) a partir dos parâmetros e quantidades predefinidas e finalmente substituir o valor encontrado na expressão que aparece na equação (12).

Tendo em vista o elevado grau de incerteza quanto aos diversos parâmetros que aparecem na função marginal de dano, o emprego direto de um determinado conjunto de valores pode induzir a um resultado viesado. Um procedimento comum nesse tipo de situação é a aplicação da análise de sensibilidade como modo de observar a variabilidade dos valores obtidos, quando se permite que se enquadre certos parâmetros dentro de um intervalo de confiança.

No contexto presente, a análise de sensibilidade é conduzida somente a partir da variação dos parâmetro da fração de CO_2 que fica imediatamente na atmosfera e da taxa de remoção (β , γ) e, também, da taxa de desconto intertemporal ρ . No caso da fração de CO_2 e da taxa de remoção, vai-se trabalhar com os valores mencionados na seção 3.2, que são aqueles dois pares obtidos por Azar (1995) e Nordhaus (1993). Para a taxa de desconto intertemporal trabalha-se com os valores de 3, 5 e 10%.

No presente estudo, toma-se o ano de referência como sendo o de 1995. Os outros valores usados para estimar o dano marginal se mantêm fixos. A renda mundial para esse ano se situa na ordem de US\$ 28,34 trilhões

(World Bank, 1997), e o nível de concentração pré-industrial de CO₂ na atmosfera é de 300 Gton. Por fim, a proporção da renda mundial que é perdida quando se duplica a concentração atual de CO₂ na atmosfera, k , é 1,5% (Cline, 1992).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados respectivamente os resultados relativos ao dano marginal e o percentual ótimo de redução de emissão. Conforme pode ser observado o impacto da alteração da taxa de desconto intertemporal é bastante acentuado. Quando essa taxa se eleva, o dano marginal diminui e também, por consequência, a necessidade de fazer reduzir a emissão de CO₂ decresce. O sentido econômico que está por trás disso pode ser explicado da seguinte forma: quanto maior a taxa intertemporal de desconto, maior a importância que os agentes atribuem ao tempo presente e, portanto, o custo de postergar o consumo para o futuro se torna maior. Assim, como se pode notar nas Tabelas 1 e 2, mudanças nessa taxa induzem modificações significativas, tanto no dano marginal, como no percentual ótimo de redução. Nordhaus (1991 a), usando um método também de equilíbrio intertemporal, encontrou para uma taxa de desconto de 4%, um percentual eficiente de redução de 11%. Há de se observar, no entanto, que essas estimativas foram elaboradas para o conjunto de todos os gases de efeito estufa.

Tabela 1

VALORES ESTIMADOS PARA O DANO MARGINAL DE EMISSÃO

(em US\$)

$(\beta, \gamma) =$	(0,56; 0,003)	(0,4; 0,001)	(0,64; 0,008)
$\rho = 3\%$	12,02	9,14	11,93
$\rho = 5\%$	7,54	5,56	7,82
$\rho = 10\%$	3,85	2,81	4,20

Tabela 2

VALORES ESTIMADOS PARA O PERCENTUAL ÓTIMO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO

(em %)

$(\beta, \gamma) =$	(0,56; 0,003)	(0,4; 0,001)	(0,64; 0,008)
$\rho = 3\%$	8,35	6,91	8,31
$\rho = 5\%$	6,11	5,04	6,24
$\rho = 10\%$	4,21	3,68	4,39

6 PROTOCOLO DE QUIOTO: MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

O Protocolo de Quioto estabelece obrigações diferenciadas de reduções dos gases efeito estufa para os países que fazem parte de um grupo determinado (Anexo 1). De forma geral, a redução a ser alcançada é da ordem de 5% com referência aos níveis de emissão de 1990, no período de 2008-2012, percentual bastante aproximado daquele encontrado no trabalho. Por este protocolo, os países em desenvolvimento não têm a obrigação de reduzir seus níveis de emissão de gases efeito estufa. Essa postura foi claramente pautada pelo objetivo de não ter que limitar seus processos de crescimento, enquanto que a dos países desenvolvidos foi no sentido de adquirir compromissos de redução que não prejudicassem sua competitividade.

Os países listados no Anexo 1 concordaram em comprometer-se de forma diferenciada neste esforço de redução. A União Européia terá que reduzir suas emissões em 8%, EUA 7%; Canadá, Japão, Hungria e Polônia 6%. A Rússia e a Ucrânia se comprometeram a estabilizar seus níveis de emissão nos valores de 1990. Ao contrário da maioria dos países listados no Anexo 1, Austrália, Islândia e Noruega podem elevar suas emissões em relação aos níveis computados de 1990, obedecendo os percentuais de 8, 10 e 1%, conforme é visto no Anexo 1.

Um aspecto interessante do Protocolo é a criação de mecanismos que estimulem o surgimento de um mercado de licenças de emissão em três instâncias diferentes. Poderia ocorrer o comércio de direito de emissão de gases efeito estufa nas seguintes situações:

- a) entre os componentes do grupo nos seus níveis permitidos de emissão;
- b) através de projetos implementados entre os próprios países do grupo, mecanismo conhecido como implementação conjunta;
- c) por meio de projetos implementados em países extra-grupo e financiados por países listados no Anexo 1, conhecido como mecanismo de desenvolvimento limpo.

Apesar de que o grupo de países não-listados no Anexo 1, constituídos basicamente pelos países em desenvolvimento, terem sido isentados de reduzir seus níveis de emissão no período 2008-2012, criaram-se mecanismos de forma a promover cooperação entre os dois grupos de países. Em particular, de especial relevância para estes países, é o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que permite que as reduções nas emissões acordadas pelos países listados no Anexo 1 possam ser realizadas através de

projetos nos países não-listados, desde que estas diminuições sejam comprovadamente reduções líquidas comparadas à situação do que ocorreria com as emissões se nenhum projeto fosse empreendido. Na verdade, ainda que não seja criado formalmente um mercado de licenças de emissão, na prática isto ocorrerá, na medida em que os países constantes no Anexo 1, ao financiar projetos redutores de emissões de gases efeito estufa nos demais países, estão efetivamente comprando licenças de emissão fora de seus territórios. Partindo da observação de que os países em desenvolvimento são aqueles que apresentam maiores taxas de crescimento, e que, portanto, podem no futuro exercer um papel representativo no processo de mudança climática, fato decorrente de que a taxa de emissão de gases efeito estufa estar associado à taxa de crescimento do produto (Manne *et al.*, 1991), então qualquer sistema de cooperação internacional visando estabilizar a concentração atmosférica de gases efeito estufa deve ter como um dos seus pontos fundamentais a criação de incentivos para diminuir as emissões provenientes dos países em desenvolvimento. Sem dúvida que o Protocolo de Quioto, ao criar o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, constituiu-se num grande avanço no campo da cooperação internacional no combate ao efeito estufa.

A princípio como foi mostrado anteriormente, os países em desenvolvimento não estarão sujeitos a nenhuma forma de controle em suas emissões. Uma questão que deve ser melhor investigada é se o nível médio de 5% de redução acordado pelos países integrantes do Protocolo de Quioto será o suficiente para contrabalançar a plena liberdade de emitir gases de efeito estufa por parte do resto do Mundo, principalmente os países do bloco em vias de desenvolvimento, já que o nível ótimo foi calculado para toda a economia mundial.

A seguir, tentar-se-á se mostrar que o patamar de 5%, proposto pelo Protocolo de Quioto, pode não ser o suficiente para compensar a emissão livre para esses países. Assumindo a hipótese de que as participações das emissões dos diferentes países no volume total emitido serão mantidas, pode-se fazer um exercício para calcular o nível de redução média necessária para os países concordatários do Protocolo de Quioto alcançar o nível de redução ótima ilustrado na seção 5. No entanto, conforme se viu mostrado, foi feito um estudo de análise de sensibilidade que resultou na obtenção de três intervalos de confiança, ou categorias distintas, para a estimativa do percentual ótimo de redução, cada um apresentando três valores. A diferenciação entre tais categorias se deu com base na taxa intertemporal de desconto, e está posta em cada linha da Tabela 1. Com base nessa observação, vai-se trabalhar com os valores médios para essas três categorias, que são, respectivamente, 7,86, 5,80 e 4,09%; para as taxas de desconto de 3, 5 e 10%. É importante ainda frisar que o exercício foi feito sob determinadas hipóteses restritivas como linearidade e a não-existência de efeitos diferenciados.

Sabe-se que o volume de CO₂ emitido oriundo do uso de fontes não-renováveis se situou para o ano de 1997 em torno de 22.981 milhões de toneladas métricas de CO₂ (IEA, 1999). Desse total cerca de 11.988 milhões de toneladas métricas foram emitidas pelos países em desenvolvimento, incluindo Brasil, México, China, países africanos e da América do Sul. Isso representa uma participação de 31,14% do total de CO₂ emitido da queima de combustíveis fósseis. Utilizando-se uma relação linear direta, estima-se que o percentual de redução restrito, ou seja, aquele aplicável aos países do Anexo 1, que seria necessário para contrabalançar os percentuais ótimos de 7,86, 5,80 e 4,09%, para o Mundo inteiro, deveriam ser, respectivamente, 11,41, 8,42 e 5,94%. Portanto, mesmo no caso mais otimista de redução de 5,94%, esse valor é superior ao estabelecido pelo Protocolo de Quioto.

7 IMPACTOS REGIONAIS DO EFEITO ESTUFA E OPÇÕES PARA OS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

Seguindo outra linha de questionamento, de natureza mais qualitativa, deve-se levantar a possibilidade de que o nível de redução nas emissões estabelecido pelo Protocolo de Quioto esteja abaixo daquele que seria necessário para manter o grau de concentração de gases de efeito estufa compatível com o crescimento sustentável: este nível sendo definido como aquele que seria suficiente para permitir aos ecossistemas se adaptarem naturalmente a mudanças no clima, garantir a segurança alimentar e, ainda, garantir o desenvolvimento econômico das nações (UNFCC, 1992). Nesse sentido, o padrão atual das emissões de gases de efeito estufa, tanto dos países desenvolvidos como aqueles em desenvolvimento, pode comprometer o ritmo da atividade econômica mundial na medida em que alterações no sistema climático, que serão percebidas num horizonte de tempo bem distante, poderão causar grandes impactos sobre a economia em decorrência da adaptação do meio ambiente frente ao aquecimento do clima. A vulnerabilidade à mudança no clima vai depender da capacidade econômica e da infraestrutura de cada região. Os efeitos induzidos pela alteração climática se farão sentir de forma substancial sobre as economias dos diferentes países, além dos problemas já existentes relacionados com a poluição, exaustão dos recursos *etc.* Certamente que as economias mais avançadas e, portanto, com maior facilidade de acesso à inovação tecnológica, estarão mais aptas a enfrentar o problema. Os países mais pobres e grande parte daqueles em desenvolvimento poderão estar entre os mais afetados devido às limitações econômicas, sociais e às próprias restrições tecnológicas. Sendo assim, deve-se atentar com mais seriedade para os efeitos adversos decorrentes da mudança de clima sobre as áreas mais pobres do globo.

Apesar da incerteza inerente ao fenômeno, existem indícios de que os efeitos sobre o crescimento da taxa de emissão de gases de efeito estufa ocorrido no passado já estariam tendo importantes impactos econômicos. Tucker (1997) descreve uma série de eventos econômicos que, muito provavelmente, estão associados aos desequilíbrios climáticos originados do efeito estufa. Por exemplo, no período 1986-1992, as companhias de seguros desembolsaram cerca de US\$ 60 bilhões com sinistros relacionados a catástrofes, pagando valores acima de US\$ 1 bilhão para 15 desses casos. Desse total, 90% foi para arcar com danos ocasionados por furacões. Há que se destacar que, nos vinte anos que antecederam esse período, nenhum sinistro acima desse valor tinha sido pago por catástrofe. Atualmente, as próprias companhias de seguros trabalham com a hipótese de que tais anomalias indicam um prenúncio de que os primeiros impactos decorrentes do aquecimento no clima já se fazem sentir, como assinala Tucker (1997).

Tendo em vista a gravidade do problema, é imperativo que os países em desenvolvimento tomem consciência e participem de modo mais ativo no controle das emissões de gases de efeito estufa, pois o aquecimento global poderá trazer grandes modificações nas regiões do Globo onde um parcela significativa desses estão localizados. Nesse sentido, o argumento de que os países em desenvolvimento não devam controlar suas emissões, considerando sua pouca responsabilidade histórica, pode não ter fundamento. Primeiro, devido ao fato que, conforme é de amplo conhecimento, as projeções das taxas de crescimento dos países em desenvolvimento são em média superiores às das nações desenvolvidas e, portanto, espera-se que os impactos das emissões oriundas desses países sobre o aquecimento global tenham um peso no futuro bem superior ao atual. Segundo, como será detalhado adiante, algumas conseqüências adversas do efeito estufa poderão ser sentidas com maior intensidade nos países mais pobres e em vias de desenvolvimento.

O caso da agricultura é extremamente ilustrativo a esse respeito. Acredita-se que o impacto completo da alteração climática sobre a produção mundial de alimentos seja baixo a moderado. Devido a processos de adaptação e técnicas adequadas de irrigação, a produção agrícola pode ser mantida, ou até mesmo elevada, graças ao efeito da fertilização oriundo do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Entretanto, existem conseqüências negativas, sendo que os maiores riscos podem estar concentrados em determinadas regiões. Países como o Brasil, por exemplo, que possuem uma forte vantagem comparativa no setor agrícola, podem sentir impactos danosos nesse setor. Acredita-se que as áreas tropicais e subtropicais serão aquelas que mais sentirão os efeitos negativos do efeito estufa, enquanto regiões de clima temperado poderão estar dentre as beneficiadas. Ainda no caso da agricultura, observa-se historicamente que a produção de alimentos tem se

adaptado às diversas mudanças relativas ao sistema econômico, crescimento populacional, mudança tecnológica *etc.* Sendo que essa adaptação é tão mais fácil quanto maior seja o avanço tecnológico, acesso ao conhecimento científico, diversidade genética introduzida nas sementes *etc.* Poucos países em desenvolvimento dispõem de recursos e técnicas para enfrentar as alterações radicais que poderão advir sobre o meio ambiente em decorrência do efeito estufa. A variação climática pode ainda gerar graves prejuízos ao setor agrícola desses países. O café, produto importante na pauta de exportações de alguns desses países, é particularmente sensível às flutuações na temperatura.

Em relação aos impactos sociais provocado pelo efeito estufa nos países em desenvolvimento, pode-se, dentre outros, mencionar aqueles que incidem sobre a saúde humana (Jepma, Munasinghe, 1998). Uma das consequências principais da mudança de clima é o aumento das doenças e mortes relacionadas ao calor. Alguns estudos têm mostrado que tais impactos sobre a saúde das pessoas aumentarão em larga escala se as projeções sobre a elevação da temperatura se confirmarem. Além disso, o aumento na frequência e na magnitude das variações climáticas poderão ser responsáveis pelo crescimento dos casos fatais, principalmente nas regiões densamente povoadas e com pouca infraestrutura, o que se verifica em muitos dos países em desenvolvimento. Ainda no que se refere à questão da saúde, pode-se afirmar que a deterioração das condições ambientais propiciará a proliferação de vetores e transmissores de doenças tais como malária, febre amarela, dengue, encefalites *etc.*, piorando as condições de vida das populações afetadas. É fato comprovado a ampliação de áreas propícias à proliferação do mosquito causador da malária. Estima-se que, do aumento total dos casos dessa doença, projetado entre 50 e 80 milhões, a maioria ocorrerá principalmente em áreas tropicais, subtropicais e regiões pobres de clima temperado (Jepma, Munasingue, 1998).

No que se refere à habitação, devido à acentuada mudança na variação do nível do mar, os assentamentos humanos localizados em áreas suscetíveis a enchentes e desmoronamentos poderão ser os mais afetados. Destacam-se as comunidades costeiras e as populações urbanas marginalizadas residentes nas encostas dos morros. Calcula-se que uma elevação de um metro do nível do mar até o ano 2100 em média afetaria cerca de 120 milhões de pessoas. Países em desenvolvimento com alta densidade populacional e com uma elevada parcela da população vivendo em condições de risco poderão estar entre os mais atingidos (Jepma, Munasingue, 1998).

Considerando todos os fatores mencionados acima e, em particular, a vulnerabilidade dos países em desenvolvimento aos possíveis danos ocasionados pelo efeito estufa, torna-se muito importante que estes países também participem dos esforços de redução na emissão. O mecanismo de Desenvolvimento Limpo é um primeiro passo nesse sentido, expressão do

reconhecimento da reduzida responsabilidade histórica desses países na geração do fenômeno em questão. Trata-se de um mecanismo necessário, porém longe de ser suficiente para a estabilização dos níveis de emissão dos gases de efeito estufa. Assim, mesmo na ocorrência de entraves nos países desenvolvidos que possam obstruir uma melhor performance do Mecanismo Limpo, deve haver por partes das nações em desenvolvimento vontade de buscar meios de arrefecer o problema. Poderia ser, de forma análoga, um mercado de licença entre os países do bloco em desenvolvimento.

7 BIBLIOGRAFIA

- ARRHENIUS, S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine*, v. 41, p. 237-276, 1896.
- AZAR, C. *Long term environmental problems. Economic measures and physical indicators*. Göteborg: Institute of Physical Resources Theory, Chalmers University, of Technology, 1995. (Ph.D. thesis).
- , STERNER, T. Discounting and distributional considerations in the context of global warming. *Ecological Economics*, v. 19, p. 169-184, 1996.
- Banco Mundial. *Desenvolvimento e meio ambiente*. Oxford: Oxford University Press, 1992.
- BARRO, R., SALA-I-MARTINI. *Economic growth*. McGraw Hill, 1995.
- BODLUND, B. *et al.* The challenge of choice: technology options for the Swedish electricity sector. In: JOHANSSON, T. B., BODLUND, B., WILLIAMS, R. H. (Eds.). *Electricity: efficient end-use and new generations technologies, and their planning implications*. Lund, Sweden: Lund University Press, 1989.
- CLINE, W. R. *The economics of global warming*. Institute of International Economics, 1992.
- EDMUNDS, J. A., REILLY, J. M. *Global energy and CO₂ to the year 2005*. The energy journal, v. 4, p. 21-47, 1983.
- IEA Statistical. *CO₂ emissions from fuel combustion 1971-1997*. International Energy Agency, 1999.
- JEPMA, C., MUNASINGUE, M. *Climate change policy: facts, issues and analysis*. Cambridge University Press, 1998.
- JORGENSEN, D., WILCOSEN, P. *The cost of controlling U. S. carbon dioxide emissions*. Washington, D. C. Oct. 1990. (Paper presented at a Workshop on Economic/Energy/Environmental modelling for climate policy).

- KRAM, T., OKKEN, P. *Two low CO₂ energy scenarios for the Netherlands*. Paris, Apr. 1989. (Paper prepared for IEA/OCDE Expert Seminar on Energy Technologies for Reductions Emissions of Greenhouse Gases).
- MAIER-REIMER, E., HASSELMAN, K. Transport and storage of CO₂ in the ocean, an inorganic ocean-circulation carbon cycle model. *Climate Dyn.*, v. 2, p. 63-90, 1987.
- MANNE, A. S., RICHELIS, R. G. Global CO₂ emissions reductions: the impacts of rising energy costs. EPRI (Electric Power Res. Inst.), Palo Alto, Calif., USA; *The Energy Journal*, v. 12, n. 1, p. 87-102, 1990.
- IPCC. *Economic and social dimensions of climate change*. Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996.
- NORDHAUS, W. D. The economic growth and climate. *The American Economic Review*, v. 67, p. 341-347, 1977.
- . *The efficient use of energy resources*. New Haven, CT: Yale University Press, 1979.
- . To snow or not snow: the economics of greenhouse effects. *Economic Journal*, v. 101, p. 920-937, 1991a.
- . The cost of slowing climate change: a survey. *The Energy Journal*, v. 12, n. 1, p. 37-65, 1991b.
- . Economic approach to greenhouse warming. *Global Warming Economic Policy Response*, The MIT Press, 1991c.
- . Rolling the DICE: an optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Resource Energy Economics*, v. 15, p. 27-50, 1993.
- , YOHE, G. *Future carbon dioxide emissions from fossil fuels*. National Research Council-National Academy of Sciences, Changing Climate. National Academic Press, 1983.
- REVELLE, R., SUESS, H. E. Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of increase of atmospheric CO₂ during the past decades. *Tellus*, v. 9, n. 18, 1957.
- TUCKER, M. Climate change and insurance industry: the cost of increased risk and impetus for action. *Ecological Economics*, v. 22, n. 2, p. 85-96, Aug. 1997.
- UNFCCC. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. FCCC, Secretariat, Bonn, 1992.
- World Bank. *Global economics prospects and the developing countries*, 1997.

Anexo 1

Parte	Limitação quantificada de emissões ou compromisso de redução (%)
Alemanha	92
Austrália	108
Áustria	92
Bélgica	92
Bulgária	92
Canadá	94
Comunidade Européia	92
Croácia	95
Dinamarca	92
Eslováquia	92
Eslovênia	92
Espanha	92
Estados Unidos	93
Estônia	92
Finlândia	92
França	92
Grécia	92
Hungria	94
Irlanda	92
Islândia	110
Itália	92
Japão	94
Letônia	92
Liechtenstein	92
Lituânia	92
Luxemburgo	92
Mônaco	92
Noruega	101
Nova Zelândia	100
Países Baixos	92
Polónia	94
Portugal	92
Reino Unido	92
Irlanda do Norte	92
República Tcheca	92
Romênia	92
Rússia	100
Suécia	92
Suíça	92
Ucrânia	100

