

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP**

Edi Carlos Martins dos Santos

**O dano econômico do aquecimento global: uma revisão da metodologia de
cálculo e dos parâmetros e procedimentos fundamentais que afetam a sua
estimação**

MESTRADO EM ECONOMIA POLÍTICA

**SÃO PAULO
2009**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP**

Edi Carlos Martins dos Santos

O dano econômico do aquecimento global: uma revisão da metodologia de cálculo e dos parâmetros e procedimentos fundamentais que afetam a sua estimação

MESTRADO EM _____

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em Economia Política sob a orientação do Prof. Doutor Paulo Fernandes Baia

**SÃO PAULO
2009**

ERRATA

Contra a vontade do autor e mesmo depois de repetidas revisões, o trabalho impresso foi entregue contendo alguns erros. A lista a seguir apresenta tais erros e indica as correções correspondentes:

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
12	13	Exemplos podem ser encontrados nos trabalhos de Watkiss (2006), Tol (2002a, 2002b) e Howarth e Monahan (1992).	Exemplos podem ser encontrados nos trabalhos de Watkiss et al. (2006), Tol (2002a, 2002b) e Howarth e Monahan (1992).
38	1	O elo essencial que existe, em todos os modelos e cálculos que buscam estimar os danos do aquecimento global, parte da seguinte ordem de fatos: i) as emissões de gases de efeito estufa aumentam as concentrações atmosféricas e alteram o forçamento radiativo da Terra; ii) a maior concentração de gases altera a temperatura média do planeta; iii) a maior temperatura afeta o clima e causa danos naturais e iv) os danos naturais causarão danos econômicos.	O elo essencial que existe, em todos os modelos e cálculos que buscam estimar os danos do aquecimento global, parte da seguinte ordem de fatos: i) as emissões de gases de efeito estufa aumentam as concentrações atmosféricas e alteram o forçamento radiativo da Terra; ii) a maior concentração de gases altera a temperatura média do planeta; iii) a maior temperatura afeta o clima e causa danos naturais e iv) os danos naturais causarão danos sócio-econômicos (STERN, 2006, p.165)
41	28	Por exemplo, qual é o valor estimado para a perda de uma vida humana? Qual é o custo social gerado pela inundação dos fenômenos extremos do clima?	Por exemplo, qual é o valor estimado para a perda de uma vida humana? Qual é o custo social gerado por uma inundação, causada pelos fenômenos extremos do clima?
43	28	Para tal é necessário o uso de técnicas que criem mercados hipotéticos, em que as pessoas são perguntadas quanto estariam dispostas a pagar ou a receber pela perda ou ganho de uma unidade adicional daquele item não-mercado.	Para tal é necessário o uso de técnicas que criem mercados hipotéticos ou micro-modelos , em que as pessoas são perguntadas quanto estariam dispostas a pagar ou a receber pela perda ou ganho de uma unidade adicional daquele item não-mercado.
44	26	Categoria de dano é um conjunto de danos causados pelo aquecimento global, agrupado por similaridade.	Categoria de dano é um conjunto de danos causados pelo aquecimento global, agrupado por similaridade, por exemplo, segmentos econômicos, sociais ou climatológicos.
46	21	Watkiss (2006, p.13) é categórico em afirmar que a maioria dos estudos captura somente os impactos diretos de produção.	Watkiss et al. (2006, p.13) é categórico em afirmar que a maioria dos estudos captura somente os impactos diretos de produção.

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
63	28	Para maiores detalhes, ver Tol (2001a, p.51).	Para maiores detalhes, ver Tol (2002a, p.51).
84	8	Da mesma maneira que o dano marginal depende do nível de emissões, também a utilidade dependerá dessas emissões.	Da mesma maneira que o dano marginal depende do nível de emissões, também o bem-estar marginal dependerá dessas emissões.
93	1	O CSC é o custo de se emitir uma tonelada adicional de carbono na atmosfera, projetado num horizonte de 100 anos e depois trazido a valor presente (WATKISS, p.1, 2006).	O CSC é o custo de se emitir uma tonelada adicional de carbono na atmosfera, projetado num horizonte de 100 anos e depois trazido a valor presente (WATKISS et al., p.1, 2006).
93	26	Uma outra analogia utilizada é a de que emitir uma tonelada adicional de carbono hoje, que custa, digamos 20 dólares, tem o mesmo impacto para a sociedade de reduzir esses 20 dólares do consumo (DIETZ, 2007, p.153).	Outra analogia utilizada é a de que emitir uma tonelada adicional de carbono hoje, que custa, digamos 20 dólares, tem o mesmo impacto para a sociedade de reduzir esses 20 dólares do consumo (DIETZ et al., 2007, p.153).
93	30	Para uma discussão mais detalhada sobre os passos para o cálculo do CSC convencional, ver Watkiss (2006), Azar e Sterner (1996), Clarksson e Deyes (2002) e Anthoff, Tol e Yohe (2008).	Para uma discussão mais detalhada sobre os passos para o cálculo do CSC convencional, ver Watkiss et al. (2006), Azar e Sterner (1996), Clarksson e Deyes (2002) e Anthoff, Tol e Yohe (2008).
101	24	Essa é abordagem encontrada em Pearce e Ulph (1998, p.6). Anthoff et al. (2006, p.5), também se referem à TPPT como a soma de duas parcelas de desconto, uma representando a impaciência social e a outra representando o risco de extinção.	Essa é abordagem encontrada em Pearce e Ulph (1995, p.6). Anthoff, Hepburn e Tol (2006, p.5), também se referem à TPPT como a soma de duas parcelas de desconto, uma representando a impaciência social e a outra representando o risco de extinção.
102	11	A taxa de chance de extinção aparece de maneira mais destacada no trabalho de Pearce e Ulph (1998). Na maior parte da literatura apenas a taxa de preferência pura no tempo, δ , vista em (13) é discutida de maneira ampla. Pearce e Ulph (1998, p.6) chamam a taxa de chance de extinção de taxa aumento ou diminuição de risco à vida (increase or decrease in the risk of life) ou taxa de crescimento da chance de viver (growth of life chances).	A taxa de chance de extinção aparece de maneira mais destacada no trabalho de Pearce e Ulph (1995). Na maior parte da literatura apenas a taxa de preferência pura no tempo, δ , vista em (13) é discutida de maneira ampla. Pearce e Ulph (1995, p.6) chamam a taxa de chance de extinção de taxa aumento ou diminuição de risco à vida (<i>increase or decrease in the risk of life</i>) ou taxa de crescimento da chance de viver (<i>growth of life chances</i>).

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
103	14	Alguns autores reconhecem a existência do risco de extinção, mas não aceitam que ele seja um parâmetro baseada na mortalidade geral da população, já que boa parte das mortes ocorre por outros fatores, que não o fator climático (PEARCE e ULPH, 1998).	Alguns autores reconhecem a existência do risco de extinção, mas não aceitam que ele seja um parâmetro baseada na mortalidade geral da população, já que boa parte das mortes ocorre por outros fatores, que não o fator climático (PEARCE e ULPH, 1995).
103	22	Pearce e Ulph (1998, p.9-15) enumeram algumas abordagens para estimação do valor de η .	Pearce e Ulph (1995, p.9-15) enumeram algumas abordagens para estimação do valor de η .
104	3	Adicionalmente Pearce e Ulph (1998 apud Stern, 1997, p.14) criticam o terceiro método, de estimar a TEMC por meio de observações do comportamento de poupança.	Adicionalmente Pearce e Ulph (1995 apud Stern, 1977, p.14) criticam o terceiro método, de estimar a TEMC por meio de observações do comportamento de poupança.
104	10	A estimação de η por meio de exercícios de avaliação ética ou exercícios mentais é também é demonstrada por Pearce e Ulph (1997, p.15).	A estimação de η por meio de exercícios de avaliação ética ou exercícios mentais é também é demonstrada por Pearce e Ulph (1995, p.15).
104	26	Fonte: Pearce e Ulph (1998, p.15).	Fonte: Pearce e Ulph (1995, p.15).
105	6	Isso mostra a inadequação de valores altos para η , pois para $\eta=5$ o peso do valor transferido ao lar 2, visto pelo lar 1 é quase nulo (PEARCE e ULPH, 1998, p.15).	Isso mostra a inadequação de valores altos para η , pois para $\eta=5$ o peso do valor transferido ao lar 2, visto pelo lar 1 é quase nulo (PEARCE e ULPH, 1995, p.15).
105	26	Pearce e Ulph (1989, p.14), concordam que um valor adequado para η seria algo girando entre 0.83 e 1.5, sendo 1.0 um valor defensável.	Pearce e Ulph (1995, p.14), concordam que um valor adequado para η seria algo girando entre 0.83 e 1.5, sendo 1.0 um valor defensável.
106	14	Pearce e Ulph (1989, p.15) recomendam estimar a taxa g levando-se em consideração grandes períodos de observação.	Pearce e Ulph (1995, p.15) recomendam estimar a taxa g levando-se em consideração grandes períodos de observação.
106	20	Se, como no exemplo de Pearce e Ulph (1989), optar-se pelo cálculo que inclua o consumo per capita de períodos mais longos, com uma TCCP mais baixa, obter-se-à uma TDS, baseada na equação (13), também mais baixa.	Se, como no exemplo de Pearce e Ulph (1995) optar-se pelo cálculo que inclua o consumo per capita de períodos mais longos, com uma TCCP mais baixa, obter-se-à uma TDS, baseada na equação (13), também mais baixa.
107	8	Conseqüentemente, como a TCCP é diretamente proporcional à TDS, como mostra (13), teríamos impacto direto na TDS, dada a escolha de TCCP. Isso pode ser visto por meio da tabela 14, em que se reúnem as diferentes TCCP, para Pearce e Ulph (1989) e Lopez (2008).	Conseqüentemente, como a TCCP é diretamente proporcional à TDS, como mostra (13), teríamos impacto direto na TDS, dada a escolha de TCCP. Isso pode ser visto por meio da tabela 14, em que se reúnem as diferentes TCCP, para Pearce e Ulph (1995) e Lopez (2008).

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se:																																																												
107	15	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Estudo</th> <th>Intervalo</th> <th>δ (%)</th> <th>η (%)</th> <th>g (%)</th> <th>s (%)</th> </tr> <tr> <th>(1)</th> <th>(2)</th> <th>(3)</th> <th>(4)</th> <th>(5)</th> <th>(6)-(3)-(4)*(5)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pearce e Ulph (1989)</td> <td>1885-1985</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>1,3</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Pearce e Ulph (1989)</td> <td>1951-1985</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>2,2</td> <td>2,20</td> </tr> <tr> <td>Lopez (2008)</td> <td>1961-2005</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>3,1</td> <td>3,10</td> </tr> </tbody> </table>	Estudo	Intervalo	δ (%)	η (%)	g (%)	s (%)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)-(3)-(4)*(5)	Pearce e Ulph (1989)	1885-1985	0,0	1,0	1,3	1,30	Pearce e Ulph (1989)	1951-1985	0,0	1,0	2,2	2,20	Lopez (2008)	1961-2005	0,0	1,0	3,1	3,10	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Estudo</th> <th>Intervalo</th> <th>δ (%)</th> <th>η (%)</th> <th>g (%)</th> <th>s (%)</th> </tr> <tr> <th>(1)</th> <th>(2)</th> <th>(3)</th> <th>(4)</th> <th>(5)</th> <th>(6)-(3)-(4)*(5)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pearce e Ulph (1995)</td> <td>1885-1985</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>1,3</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Pearce e Ulph (1995)</td> <td>1951-1985</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>2,2</td> <td>2,20</td> </tr> <tr> <td>Lopez (2008)</td> <td>1961-2005</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>3,1</td> <td>3,10</td> </tr> </tbody> </table>	Estudo	Intervalo	δ (%)	η (%)	g (%)	s (%)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)-(3)-(4)*(5)	Pearce e Ulph (1995)	1885-1985	0,0	1,0	1,3	1,30	Pearce e Ulph (1995)	1951-1985	0,0	1,0	2,2	2,20	Lopez (2008)	1961-2005	0,0	1,0	3,1	3,10
Estudo	Intervalo	δ (%)	η (%)	g (%)	s (%)																																																										
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)-(3)-(4)*(5)																																																										
Pearce e Ulph (1989)	1885-1985	0,0	1,0	1,3	1,30																																																										
Pearce e Ulph (1989)	1951-1985	0,0	1,0	2,2	2,20																																																										
Lopez (2008)	1961-2005	0,0	1,0	3,1	3,10																																																										
Estudo	Intervalo	δ (%)	η (%)	g (%)	s (%)																																																										
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)-(3)-(4)*(5)																																																										
Pearce e Ulph (1995)	1885-1985	0,0	1,0	1,3	1,30																																																										
Pearce e Ulph (1995)	1951-1985	0,0	1,0	2,2	2,20																																																										
Lopez (2008)	1961-2005	0,0	1,0	3,1	3,10																																																										
107	16	Fonte: Pearce e Ulph (1998, p.15) e Lopez (2008). Nota: Elaborada pelo autor com base nos valores de g encontrados em Pearce e Ulph (1998) e Lopez (2008).	Fonte: Pearce e Ulph (1995, p.15) e Lopez (2008). Nota: Elaborada pelo autor com base nos valores de g encontrados em Pearce e Ulph (1995) e Lopez (2008).																																																												
118	21	$V_D = \frac{V_M}{(1+i)^n} = \frac{V_M}{(1+s)^t} = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} \frac{D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^{\eta}}{(1+s)^t} =$	$V_D = \frac{V_M}{(1+i)^n} = \frac{V_x(r)}{(1+s)^t} = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} \frac{D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^{\eta}}{(1+s)^t} =$																																																												
121	14	O primeiro problema que surge nesse tipo de estimação é que há incertezas impostas nos cálculos; naturais, por falta de entendimento científico de alguns fenômenos do sistema climático e, metodológicos, por falta de informações disponíveis em nível global (WATKISS, 2006).	O primeiro problema que surge nesse tipo de estimação é que há incertezas impostas nos cálculos; naturais, por falta de entendimento científico de alguns fenômenos do sistema climático e, metodológicos, por falta de informações disponíveis em nível global (WATKISS et al., 2006).																																																												
122	21	O segundo problema que surge, quando da estimação dos danos, é que muitos estudos não aplicam o procedimento da ponderação (<i>equity weighting</i>).	O segundo problema metodológico que surge, quando da estimação dos danos, é que muitos estudos não aplicam o procedimento da ponderação (<i>equity weighting</i>).																																																												
123	7	O terceiro problema que envolve o cálculo de dano, causado pelo aquecimento global, é o processo de descontagem.	O terceiro problema metodológico , que envolve o cálculo de dano, causado pelo aquecimento global, é o processo de descontagem.																																																												
124	18	Também defende-se uma agenda de pesquisa em torno da taxa de elasticidade marginal do consumo η , já que, a despeito de haver consenso de que tal parâmetro deva estar no intervalo entre 1 e 2 (PEARCE e ULPH, 1989; EVANS, 2006; LOPEZ (2008), há controvérsia quanto ao método para a sua estimação (PEARCE e ULPH, 1989; EVANS, 2006).	Também defende-se uma agenda de pesquisa em torno da taxa de elasticidade marginal do consumo η , já que, a despeito de haver consenso de que tal parâmetro deva estar no intervalo entre 1 e 2 (PEARCE e ULPH, 1995; EVANS, 2006; LOPEZ, 2008), há controvérsia quanto ao método para a sua estimação (PEARCE e ULPH, 1995; EVANS, 2006).																																																												

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
126	10	ANTHOFF, David; HEPBURN, Cameron; TOL, Richard. Equity weighting and marginal damage costs of climate change. Hamburgo: FNU-121 Working Paper, 2003. Disponível em: < http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/AnthoffHepburnTol2006EquityWeighting.pdf >. Acesso em: 03/11/2008.	ANTHOFF, David; HEPBURN, Cameron; TOL, Richard. Equity weighting and marginal damage costs of climate change. Hamburgo: FNU-121 Working Paper, 2006. Disponível em: < http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/AnthoffHepburnTol2006EquityWeighting.pdf >. Acesso em: 03/11/2008.
128	22	FANKHAUSER, Samuel; TOL, Richard; PEARCE, David. Equity and the Aggregation of Climate Change Damages. Norwick: CSERGE, Working Paper GEC-1996-18, 1996. Disponível em: < http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1996_18.pdf >. Acesso em: 02/05/2008.	FANKHAUSER, Samuel; TOL, Richard; PEARCE, David. The Aggregation of Climate Change Damages: A Welfare Theoretic Approachs. In: Environmental and Resource Economics. Holanda. V.10, p.249-266, 1997. Disponível em: < http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/ereaggregation.pdf >. Acesso em: 01/05/2009.
129	16	Great Britain H.M. Treasury. The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government. Oxford, 2008. Disponível em: < http://www.hm-treasury.gov.uk/d/green_book_complete.pdf >. Acesso em: 20/02/2009.	Great Britain H.M. Treasury. The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government. Oxford, 2008. Disponível em: < http://www.hm-treasury.gov.uk/d/green_book_complete.pdf >. Acesso em: 20/02/2009. HEPBURN, Cameron. Discounting climate change damages: Working note for the Stern review. Oxford, Environmental Change Institute and Department of Economics, University of Oxford. 2006. Disponível em: < http://www.economics.ox.ac.uk/members/cameron.hepburn/Hepburn%20(2006)%20Stern%20review%20discounting.pdf >. Acesso em 01/05/2009.

Página	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
131	11	<p>PEARCE, David. The social cost of carbon and its policy implications. In: Oxford Review Of Economics Policy. Oxford, v.19, n.3, p.362-384, 2003. Disponível em: <http://www.vulnerabilitynet.org/OPMS/view.php?site=seiproject&bn=seiproject_hotel&key=1140130225>. Acesso em: 02/11/2008.</p>	<p>PEARCE, David. The social cost of carbon and its policy implications. In: Oxford Review Of Economics Policy. Oxford, v.19, n.3, p.362-384, 2003. Disponível em: <http://www.vulnerabilitynet.org/OPMS/view.php?site=seiproject&bn=seiproject_hotel&key=1140130225>. Acesso em: 02/11/2008.</p> <p>PEARCE, David; ULPH, David. A Social Discount Rate for the United Kingdom. Norwick, CSERGE, Working Paper GEC-95-01, 1995. Disponível em: <http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1995_01.pdf>. Acesso em: 02/05/2009.</p>

Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho aos meus pais Juscelino Martins dos Santos e Maria Salerno dos Santos. Sem a simples educação e ensinamentos que recebi deles, eu jamais teria chegado aonde cheguei. Se em certos momentos faltou o apoio financeiro, não porque eles não quisessem me dar, mas porque eles realmente não possuíam os recursos, jamais faltou o incentivo de pai e de mãe. Ao meu irmão Emerson Martins dos Santos, que apesar de ser mais jovem do que eu, sempre esteve à frente na busca dos seus objetivos, sendo para mim um modelo de predestinação e persistência. À minha querida Alda, pelo apoio e paciência. Tenho consciência que você tem passado mais tempo do que gostaria sem mim, nesses últimos quatro anos, desde que comecei essa jornada no curso de Mestrado em Economia. Espero compensá-la, estando mais presente e próximo, na criação dos nossos filhos, Pedro e Felipe, que estão na iminência de aportar nesse nosso mundo agitado e cheio de incertezas. Aos amigos e professores da PUC/SP, especialmente ao professor Carlos Eduardo Carvalho, por acreditar em mim, bem lá no início, e ao meu orientador, professor Paulo Baia, pelos conselhos e orientações, quando eu já me perdia entre os diversos caminhos a tomar. A vocês, meu muito obrigado. Aos amigos de classe e da Schneider Electric, que me deram apoio e me ajudaram em todo esse percurso meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Os danos econômicos causados pelo aquecimento global costumam ser expressos na forma de uma perda percentual do produto nacional ou mundial ou ainda pelo valor absoluto de certo valor de unidades monetárias. Em geral, não é dada muita atenção ao processo ou método de estimação do cálculo em si. Uma análise mais detalhada desse processo (*valuation do dano*) mostra que vários fatores podem contribuir para aumentar ou diminuir o montante econômico do dano: a não captura de várias externalidades, simplificações, extrapolações, correções por meio da renda *per capita* (ponderação ou pesos de igualdade) e por meio da escolha das taxas de desconto. O objetivo desse trabalho é fazer uma revisão dessa metodologia de cálculo, evidenciando a forma, a seqüência, os parâmetros e os procedimentos fundamentais que têm influência sobre montante total do dano econômico, causado pelo aquecimento global.

PALAVRAS-CHAVES: aquecimento global, pesos de igualdade, ponderação, funções de bem-estar social, taxas de desconto, descontagem

ABSTRACT

The economic damages caused by the global warming are used expressed in a percentage loss of the gross domestic product or as a ratio of world output or even by the absolute value of certain monetary units. Generally, no much attention is given to the estimation methodology or calculation process itself. More detailed analysis of this process (damage valuation) shows that a lot of factors can contribute to the increase or decrease of the economic amount damage: externalities which are not included in the calculation, simplification, extrapolation, *per capita* income correction (in the form of equity weighting), and choice of discounting rates. The aim of this work is to do a review of that estimation methodology, pointing out the way, sequence, key parameters and procedures that have influence over the total amount of the economic damage, caused by the global warming.

KEYWORDS: global warming, equity-weighting, social-welfare function, discount rates, discounting

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 – Forçamento radiativo no período 1750 e 2005.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2 - Emissões de gases de efeito estufa até 2004 (GtCO₂eq/ano).....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3 - Emissões de CO₂ por fonte de emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4 - Emissões de CH₄ por fonte de emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5 - Emissões de N₂O por fonte de emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 6 - Emissões dos gases fluorados por fonte da emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7 - Matriz de riscos e incertezas nas estimativas do dano</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 - Matriz de riscos e incertezas e as limitações dos estudos que estimam o dano</i>	<i>52</i>
<i>Figura 9 – Exemplo de cálculo de danos para valores de uso, existência e opção.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 10 – Exemplo de cálculo da ponderação, baseado em Pearce (2003) com $\eta=1$</i>	<i>89</i>
<i>Figura 11 – Exemplo de cálculo da ponderação, baseado em Pearce (2003), com $\eta=1.2$.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 12 – Exemplo de cálculo da descontagem.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 13 – Efeito da taxa de desconto a 10% ao ano até 2030</i>	<i>110</i>
<i>Figura 14 – Efeito da taxa de desconto a 2% ao ano até 2030</i>	<i>110</i>
<i>Figura 15 - Efeito da taxa de desconto a 10% ao ano em 100 anos.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 16 - Efeito da taxa de desconto a 0.1% ao ano em 100 anos.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 17 - Efeito da taxa de desconto social em Stern e em Nordhaus, em 100 anos</i>	<i>116</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Forçamento radiativo acumulado por tipo de gás estufa</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2 – Potencial de aquecimento global (PAG) de gases selecionados.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 3 – Cenários de emissões e o impacto sobre a temperatura média global.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 4 - Cálculo dos danos do setor de energia ou de conforto humano.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 5 - Cálculo dos danos para o setor agrícola.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 6 - Cálculo de danos econômicos relacionado à perda de água</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 7 - Cálculo dos danos dos fenômenos extremos (somente perda de vidas).....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 8 – Demonstração dos danos, com e sem ponderação.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 9 – Efeito da ponderação sobre o dano com $\eta=1$</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 10 – Efeito da ponderação sobre o dano com $\eta=1.2$</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 11 – Cálculo do custo social do carbono médio</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 12 – Custo social do carbono com e sem ponderação (convencional).....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 13 - Relação das utilidades marginais do consumo para $C_1=2xC_2$.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 14 – Efeito da taxa de crescimento do consumo sobre a taxa de desconto social.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabela 15 – Efeito da taxa de desconto sobre o dano.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 16 - Parâmetros internos da taxa de desconto em Dasgupta (2007b).....</i>	<i>115</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
1. AS BASES CIENTÍFICAS DO AQUECIMENTO GLOBAL.....	16
1.1 <i>O efeito estufa natural</i>	16
1.2 <i>O efeito estufa reforçado</i>	17
1.3 <i>Forçamento radiativo</i>	18
1.4 <i>Ano de referência ou benchmark inicial</i>	20
1.5 <i>Nível de concentração dos gases</i>	21
1.6 <i>Variações na temperatura média global</i>	22
1.7 <i>Potencial de aquecimento global</i>	23
1.8 <i>O sistema climático</i>	24
1.9 <i>Os gases de efeito estufa</i>	26
1.10 <i>A ação antropogênica sobre o clima</i>	27
1.11 <i>Aumento na concentração dos gases e os seus impactos econômicos</i>	35
1.12 <i>Comentários finais</i>	37
2. OS CÁLCULOS DE DANO DEVIDO AO AQUECIMENTO GLOBAL.....	38
2.1 <i>Análises de custo-benefício</i>	41
2.2 <i>Danos totais e danos devido à duplicação na concentração do CO₂</i>	42
2.3 <i>Categorias de danos</i>	43
2.4 <i>Um balanço sobre as categorias de danos</i>	51
2.5 <i>Cenários e modelos de emissões</i>	53
2.6 <i>Método do cálculo das categorias de danos</i>	55
2.7 <i>Comentários finais</i>	71

3. PONDERAÇÃO OU PESOS DE IGUALDADE (<i>EQUITY WEIGHTING</i>)	74
3.1 <i>Funções de utilidade</i>	77
3.2 <i>Funções de bem-estar social</i>	79
3.3 <i>Variações no nível de bem-estar</i>	82
3.4 <i>Normalização</i>	86
3.5 <i>Efeitos da ponderação</i>	88
3.6 <i>Resultados empíricos indiretos com e sem ponderação</i>	92
3.7 <i>Comentários finais</i>	95
4. TAXA DE DESCONTO NO CONTEXTO DA MUDANÇA DO CLIMA	97
4.1 <i>Taxas de desconto</i>	97
4.2 <i>Taxa de desconto social (TDS)</i>	100
4.3 <i>Taxa de preferência pura no tempo (δ)</i>	101
4.4 <i>Taxa de elasticidade marginal do consumo (η)</i>	103
4.5 <i>Taxa de crescimento do consumo per capita (g)</i>	106
4.6 <i>Descontagem e sensibilidade do dano devido à taxa de desconto</i>	108
4.7 <i>Discussão recente sobre as taxas de desconto</i>	114
4.8 <i>Comentários finais</i>	116
CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS	126

INTRODUÇÃO

O problema do aquecimento global foi colocado em evidência nos últimos anos em razão do crescente número de estudos, dando conta da gravidade que os impactos naturais provocados pelo fenômeno, trarão para a sociedade. Além dos impactos naturais, impactos econômicos também começam a preocupar os países e a sociedade. Evidências sobre a intensificação do aquecimento global foram mostradas em amplos relatórios produzidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, o IPCC (2007a, 2007b, 2007c). Neles, a instituição relata os impactos que a ação do homem tem provocado no meio ambiente e propõe uma série de ações de adaptação e mitigação dos riscos para evitar ou reduzir os danos econômicos ao planeta e às populações que nele vivem.

Quando falamos em danos econômicos, causados pelo aquecimento global, várias questões são levantadas a respeito de como o processo de *valuation* desse dano é realizado. A proposta desse trabalho é justamente fazer uma revisão de como o processo é conduzido, buscando evidenciar os principais aspectos que podem contribuir para o aumento ou redução do montante do dano econômico. Focar-nos-emos em três pontos fundamentais: i) o processo de estimação do dano (*valuation* do dano); ii) a ponderação do dano com base na renda *per capita* e iii) o processo de descontagem. Esses três fatores afetam o cálculo, podendo levar a uma super ou a uma subestimação do dano econômico, causado pelo fenômeno do aquecimento global.

O primeiro passo, no processo de estimação, deve ser dado no sentido de compreender o que é, e porque o aquecimento global causa danos econômicos para a sociedade. Com esse objetivo, discutiremos no capítulo 1, quais são as bases científicas do que se convencionou chamar aquecimento global reforçado (PEW, 2006, p.2-4). Veremos que devido à atuação do homem, a temperatura média da Terra tem se elevado de maneira acentuada nos últimos 250 anos, com maior intensidade nos últimos 50 anos (IPCC, 2007a, p.137). Isso trará uma série de impactos sobre a ocupação de áreas costeiras, produção de alimentos, saúde humana, preservação de biodiversidade, uso da energia, etc.

Um desafio que se coloca para a sociedade é como traduzir esses danos naturais em unidades monetárias ou em equivalentes de consumo¹, de forma que isso permita compará-los com métricas conhecidas. Por exemplo: escrever o dano como razão do produto nacional ou compará-lo a um valor de investimento. Isso não seria possível se tivéssemos que comparar um dado número de mortes de espécies ou pessoas, com um determinado montante de dinheiro, por exemplo. Esse processo de *valuation* será estudado no capítulo 2. Lá mostramos as dificuldades que surgem quando estimamos danos de bens que não têm preços dados pelos mercados: uma vida humana, o custo da extinção de um ser ou tipo de planta, etc.

Neste processo de estimação dos danos, a grande dificuldade é que não se consegue capturar todas as externalidades que o aquecimento global pode causar. Os danos são agrupados nas chamadas categorias de danos (agricultura, elevação do nível do mar, danos de eventos extremos, etc.). Muitos dos danos provenientes dessas categorias ou de suas subcategorias não são capturadas pelos modelos e pelos cálculos de estimação. Exemplos podem ser encontrados nos trabalhos de Watkiss (2006), Tol (2002a; 2002b) e Howarth e Monahan (1992). Eventos extremos do clima, por exemplo, tais como a maior incidência de tempestades, furacões, estiagens, calor ou frio intenso, provocarão externalidades: gastos com processos migratórios, fome que se abaterá sobre as populações, tratamentos de saúde pós-eventos extremos, traumas físicos e psicológicos, etc. Embora essas conseqüências tenham claramente um custo para a sociedade e sejam causados direta ou indiretamente pela intensificação do aquecimento global, elas não são capturadas na totalidade pela maioria das estimativas e modelos de dano.

No capítulo 2 não se vai estimar o montante do dano em si, mas apontar as omissões ou limitações dos modelos, que podem, assim, subestimar o dano econômico total. A despeito de existirem modelos que facilitem o cálculo dos danos (DICE, 2007; FUND, 2007; 2008a, 2008b; HOPE; 2006), nenhum deles captura todas as externalidades provocadas pela mudança do clima.

Sobre o ponto de vista da pesquisa, optou-se pela descrição dos danos e pela indicação dos pontos fracos ou limitações dos modelos. O objetivo desse trabalho não é o de criar um

¹ Evitaremos utilizar o termo *dano monetário*. Utilizaremos o termo *equivalentes de consumo* para representar um certo montante em dinheiro. Esse é o termo encontrado em Cline (1992, p.236). Isso será feito para evitar qualquer tipo de associação do termo monetário com políticas relacionadas ao controle da moeda.

modelo, nem calcular o dano, mas evidenciar os pontos que cercam a estimação, dentro dos modelos ou programas, e como eles afetam o montante do dano.

Não se optou em estudar ou detalhar nenhum dos principais modelos da atualidade, por exemplo, os modelos FUND (2007; 2008a; 2008b) e DICE (2007). Esse caminho foi evitado, pois, tais modelos utilizam formulações matemáticas complexas² e queríamos evitar uma abordagem que priorizasse o uso dessas formulações. O objetivo perseguido foi o de fazer uma revisão do processo de estimação, de uma maneira direta, didática e entendível pelo leitor menos habituado com o tema da *valuation* do dano. Prescindimos, portanto, de analisar esses modelos mais recentes, mais matematizados, e optamos pela utilização dos trabalhos de Fankhauser (1993), Tol (2002a) e Cline (1992), como principais referências do capítulo 2. A opção por tais autores se deveu ao fato de eles adotarem uma linguagem mais descritiva e explicativa do processo de *valuation* dos danos. Por meio desses trabalhos, buscamos evidenciar a seqüência de estimação dos danos e mostrar que nem todas as externalidades, causadas pelo aquecimento global, são capturadas pelos modelos.

Os capítulos 3 e 4 são uma seqüência do capítulo 2. Eles tratam de parâmetros ou procedimentos essenciais, aplicados aos danos, que podem aumentar ou reduzir o montante da estimativa de dano, na forma de equivalentes de consumo. Tais procedimentos e parâmetros são: a ponderação (*equity weighting*) e as taxas de desconto.

A ponderação ou os pesos de igualdade são utilizados para corrigir o dano, baseado na renda *per capita*. Uma vez que o dano tenha sido calculado, é justificado aplicar algum tipo de correção baseado na renda. Esse tipo de procedimento se justifica com base na idéia de se fazer justiça interregional. O procedimento se apóia fortemente na idéia de que um dólar tenha um valor mais alto para as pessoas que vivem em países pobres, do que para aqueles que vivem em países ricos. Tal raciocínio tem haver com o poder de compra dos habitantes dos países. O dano causado pelo aquecimento global fará as pessoas despendarem parte de suas rendas para mitigar ou se adaptar à mudança do clima, gerando uma perda de bem-estar social. Essa perda de bem-estar será tanto maior, quando menor for a renda.

² Embora exista farta documentação disponível, como por exemplo, para o modelo FUND, a pesquisa encontrou dificuldades para deduzir as fórmulas do modelo, de forma que pudessem ser exploradas e explicadas de uma maneira sucinta, didática e objetiva.

A estimação de danos foi, por muito tempo, realizada sem levar em conta essa preocupação, de ponderar o dano ou calcular o dano avaliando o seu peso, de acordo com os diferentes níveis de renda das populações. Era comum, nas primeiras estimativas de danos, devido ao aquecimento global, não se realizar nenhuma correção por meio do procedimento da ponderação. Vários estudos mostram que quando tal procedimento é aplicado, o dano relativo para os pobres aumenta, assim como a estimativa global de dano (ANTHOFF, HEBBURN, TOL, 2006; CLARKSSON e DEYES, 2002; PEARCE, 2003). O capítulo 3 evidencia como tal correção é realizada. Ela se baseia na utilização de funções de utilidade e de funções de bem-estar social, que também são discutidas nesse capítulo.

No capítulo 4, discute-se outro aspecto que recai sobre o dano: as taxas de desconto. O dano é calculado fazendo-se a projeção das emissões de gases de efeito estufa e estimando-se os danos econômicos que eles causarão no futuro, num dado ponto do tempo. Uma vez que isso tenha sido feito, é necessário corrigir essa estimativa, trazendo tal montante a valor presente. Esse é o chamado processo de descontagem. Normalmente esse procedimento é justificado pela idéia de que esse dano será maior visto pela geração atual e menor, visto pelas gerações futuras, já que essas últimas serão mais ricas, devido ao crescimento econômico e ao progresso tecnológico, experimentado pela sociedade. A descontagem é, então, aplicada, no contexto da mudança do clima, com o objetivo de promover alguma igualdade intergeracional. Ela é realizada mediante a escolha de uma dada taxa de desconto, que é, então, aplicada sobre o montante do dano econômico, causada pelo aquecimento global.

Geralmente a descontagem reduz o dano. No capítulo 4, apresentamos essa constatação, mostrando as conclusões de Dasgupta (2007b). Ele mostra que a taxa de desconto escolhida por Stern (2006), em recente e bastante comentado trabalho, comparativamente à taxa utilizada por outros autores, tem o potencial de reduzir o dano, na forma de equivalentes de consumo em mais de 17 vezes, mostrando a importância da correta escolha da taxa de desconto.

Um problema que se apresenta é que as taxas de desconto do mercado financeiro podem ser perfeitamente utilizadas com o propósito de descontar o valor do dano. Muitos autores, entretanto, defendem que a taxa de desconto a ser utilizada, em processos que envolvem a mudança do clima, é a taxa de desconto social (CLINE, 1992; ACKERMAN, 2007; GUO et al., 2006; DASGUPTA, 2007b). Essa, geralmente, é mais baixa que as taxas do

mercado financeiro, captura aspectos ligados a justiça intergeracional e é mais adequada à análises intertemporais de mais longo período, como por exemplo, 20, 50, 100 ou mais anos (CLINE, 1992).

Assim, esse trabalho foi elaborado com o objetivo de varrer todo o conhecimento que envolve o cálculo do dano provocado pelo aquecimento global. Primeiro: entender a parte científica que cerca o fenômeno. Segundo, apresentar como é o processo de *valuation* do dano, mostrando as externalidades que não entram nos cálculos e as limitações dos modelos que, por conseqüência, acabam por subestimar o dano real. Terceiro: analisar como o dano pode ser corrigido por meio da ponderação, com base na renda *per capita*. Quarto: mostrar o quanto o dano pode ser impactado (reduzido ou aumentado) por meio da escolha das taxas de desconto. Por último, apresentamos as nossas conclusões. Essa é a seqüência do presente trabalho.

1. AS BASES CIENTÍFICAS DO AQUECIMENTO GLOBAL

O objetivo deste capítulo é entender cientificamente o significado do aquecimento global. Não se vai discutir neste capítulo a parte econômica que envolve a mudança do clima. O objetivo será mostrar as bases científicas do aquecimento global, sua origem e funcionamento, o porquê da sua ocorrência, as principais preocupações que ele desperta, o que motiva o interesse do seu estudo, as principais questões já levantadas pela comunidade científica e, por fim, mostrar a situação atual do conhecimento que cerca o tema. Constatar-se-à que a intensificação do aquecimento global se deve à interferência do homem no meio ambiente.

Assim, buscar-se-à responder o que é o aquecimento global, suas causas e suas conseqüências. Há fortes evidências que o aquecimento global se deve à ação do homem sobre o meio ambiente, seja pela ocupação dos espaços naturais, seja pelo uso da terra, seja pela emissão de substâncias que alteram as condições naturais de funcionamento do meio ambiente, entre outros aspectos (IPCC, 2007a, 2007b, 2007c). Essas várias ações do homem têm aumentando a temperatura média do planeta, gerando uma série de impactos naturais e econômicos. A quantificação desses impactos econômicos será abordada no capítulo 2 deste trabalho.

1.1 O efeito estufa natural

Muito se fala sobre o chamado efeito estufa e os males que ele tem causado devido a sua capacidade de aumentar a temperatura média global da Terra. É preciso esclarecer, entretanto, que o efeito estufa é um fenômeno natural, que garante o equilíbrio térmico do planeta, tornando o globo terrestre aquecido e habitável. Sem o efeito estufa natural a superfície da Terra seria muito mais fria, com uma temperatura média 33°C mais baixa do que a temperatura média atual (SCHNEIDER, 1989, p.12-15). Isso significa que caso o fenômeno

do efeito estufa natural não existisse, a temperatura média global giraria em torno dos 15°C negativos³, gerando uma série de consequências para o conforto humano.

Para uma melhor compreensão do efeito estufa natural, vejamos como ele funciona: a superfície terrestre é recoberta por uma camada de gases. O sol emite radiações que passam por essa camada que envolve a Terra. Parte dessa radiação é refletida antes de entrar na atmosfera. A outra parte atinge a superfície, é absorvida e é transformada em radiação na forma de calor: a chamada radiação eletromagnética infravermelha. Quando essa reflexão ocorre, a radiação infravermelha é projetada para o espaço e confronta-se novamente com os gases presentes na atmosfera. Alguns desses gases têm a capacidade de absorver o calor, impedindo que ele deixe o planeta (IPCC, 2007a, p.96; p.115-116). Esse processo natural funciona como uma estufa artificial: os gases desempenham a função de isolante térmico, que impede ou bloqueia a saída do calor.

Os gases distribuídos na atmosfera terrestre têm esse papel. Eles garantem o equilíbrio térmico da Terra e o clima ameno, ao aprisionar o calor próximo da superfície, onde vivemos. Daí o nome *gases de efeito estufa*. Eles têm a capacidade de reter o calor próximo da superfície, mantendo certo equilíbrio térmico entre superfície e atmosfera. Esse fenômeno ocorre de forma natural é conhecido como *efeito estufa natural*.

1.2 O efeito estufa reforçado

O efeito estufa natural vinha funcionando de forma relativamente equilibrada até o período pré-industrial, por volta do ano 1750. Constatava-se esse equilíbrio, ao se medir a concentração dos gases de efeito estufa distribuído na atmosfera, especialmente o gás dióxido de carbono (CO₂).

Dados do Painel Intergovernamental sobre a Mudança do Clima, mais conhecido pela abreviação do seu nome em inglês, IPCC⁴, mostram que entre o ano 1000 e 1750, as

³ Segundo Cline (1992, p.15), a temperatura média global gira em torno dos 15°C positivos, devido à existência do efeito estufa natural.

concentrações de gases de efeito estufa se mantiveram relativamente estáveis (IPCC, 2007a, p.137). Nesse período a concentração de CO₂ variou muito pouco, de 275 a 285 partes por milhão (ppm), ou seja, apenas 10ppm ao longo de 750 anos. Entretanto, entre os anos 1750 e 2005, um período de 255 anos, a concentração aumentou acentuadamente, atingindo 379 ppm. Um aumento de 100ppm, sendo que metade disto apenas nos últimos 50 anos, a partir de 1950. Também entre 1750 e 2005, outro gás estufa, o metano (CH₄), teve a sua concentração atmosférica aumentada em mais de 150%, saltando de 715 para 1774 partes por bilhão (ppb) (IPCC, 2007a, p.143).

Esses aumentos de concentração evidenciam a perturbação no chamado efeito estufa natural. Como descrevemos anteriormente, os gases presentes na atmosfera absorvem calor. Se eles se apresentam em maior quantidade, significa que também absorverão mais energia solar e vão impedir que grande parte desse calor deixe a atmosfera. A retenção ou bloqueio da energia, na forma de calor, faz a temperatura média da Terra aumentar. Esse processo de aumento das concentrações de gases e de intensificação da retenção de calor recebe o nome de *efeito estufa reforçado*⁵ (PEW, 2006, p.2-4).

1.3 Forçamento radiativo

A camada de gases acima da superfície terrestre é composta de vários tipos de substâncias, com capacidades variadas de promover o aumento ou a redução da temperatura média da Terra. Maior atenção tem sido dada aos gases de efeito estufa, pois muitos deles têm vida muito longa⁶, permanecendo por muitos anos na atmosfera. Alguns desses gases, depois de liberados na atmosfera, praticamente não sofrem decaimento ou não se decompõem, permanecendo na atmosfera por centenas de anos. A consequência disso é que alguns gases, não sendo consumidos por fenômenos naturais, aumentam sua presença na atmosfera

⁴ IPCC é a sigla de Intergovernmental Panel on Climate Change. Ele foi criado conjuntamente, em 1988, pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO, World Meteorological Organization) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, United Nations Environment Programme) com a missão de avaliar de forma ampla, exaustiva e multidisciplinar, as informações científicas, técnicas e econômicas sobre mudança climática, em abrangência mundial, por meio de relatórios de levantamento, os chamados *Assessment Reports*. A sede do IPCC é na cidade de Genebra, na Suíça. A instituição já produziu quatro relatórios consolidados sobre mudança climática, que foram publicados nos anos de 1990, 1995, 2001 e 2007. O último relatório recebeu o nome de AR4, *4th Assessment Report*. Para maiores informações sobre o IPCC, ver IPCC (2004).

⁵ O termo utilizado, em inglês, é *enhanced greenhouse effect*.

⁶ É encontrado na literatura sobre o tema, o termo gases de vida longa. É muito utilizada a sigla em inglês LLGHGs, que são as iniciais de *long-lived greenhouse gases*.

indefinidamente. É o caso de alguns gases a base de flúor, como o hexafluoreto de enxofre (SF₆), o tetrafluormetano (PFC-14) e o perfluoretano (PFC-116). Eles têm vida, respectivamente, de 3.200, 50.000 e 10.000 anos⁷.

Assim como os gases de efeito estufa podem aumentar a temperatura média da Terra, alguns outros gases contribuem para a redução da temperatura do planeta. Um exemplo são os chamados aerossóis. Eles cumprem um papel similar ao dos gases de efeito estufa, mas sua contribuição é inversa: ao invés provocar o aumento da temperatura, eles diminuem a temperatura média global. Isso ocorre, pois os aerossóis impedem que os raios do sol entrem na atmosfera, refletindo-os de volta para o espaço. Uma vez que não entram, não se transformam em radiação de calor quando atingem a superfície. Por isso, se diz que os aerossóis têm a capacidade de resfriar a temperatura média da Terra.

Cientificamente, quando os gases aumentam a temperatura média da Terra, eles têm o chamado forçamento radiativo positivo. É o caso dos gases de efeito estufa. Quando os gases contribuem para a redução da temperatura, é dito que possuem um forçamento radiativo negativo. Os aerossóis se encaixam nessa classe de gases.

O forçamento radiativo (FR) é a medida de quanto o equilíbrio energético entre a Terra e a atmosfera é influenciado quando alguns fatores presentes no meio ambiente são alterados, como por exemplo, maior ou menor quantidade de gases estufa ou aerossóis na atmosfera. A unidade de medida do FR é dada em watts por metro quadrado (W/m²), ou seja, quantidade de calor absorvido por área.

Não faz parte do escopo deste trabalho, o cálculo, nem a demonstração de como os FR são estimados para cada tipo de gás, mas é importante ressaltar a relação de proporcionalidade existente entre ele e o aumento das concentrações⁸ e da temperatura da Terra. Significa dizer que, quanto maior é a concentração de gases, maior é o FR e, por consequência, da variação da temperatura média do planeta.

⁷ IPCC (2007a, p.33).

⁸ Uma discussão interessante, sobre o cálculo do forçamento radiativo, pode ser encontrada em Reilley, Babiker e Mayer (2002).

O último relatório do IPCC (2007a) apresenta os cálculos consolidados do FR de cada um dos gases estufa. Um resumo do resultado desses cálculos pode ser visto na tabela 1:

Tabela 1 – Forçamento radiativo acumulado por tipo de gás estufa

Composto	Fórmula química	Concentração	Forçamento radiativo (W/m ²)
Dióxido de carbono	CO ₂	379 ppm	1,66
Metano	CH ₄	1774 ppb	0,48
Óxido Nitroso	N ₂ O	319 ppb	0,16
Fluorados	Várias	-	0,33
Total			2,63

Fonte: IPCC (2007a, p.141)

Notas: Compostos e informações livremente selecionadas pelo autor

Se o FR é positivo dizemos que ele contribui para o aquecimento global, pois adiciona mais calor por metro quadrado ao sistema climático. Se o forçamento radiativo é negativo, diz-se que o gás contribui para o resfriamento do clima, pois ele retira calor por metro quadrado do sistema climático. Um resumo da contribuição de cada gás para o fenômeno do aquecimento global pode ser encontrado na figura 1, da seção 1.10.

1.4 Ano de referência ou *benchmark* inicial

O IPCC considera o ano de 1750 como o ano base, o ponto de partida, a referência inicial dos seus estudos sobre o aquecimento global. Isso significa dizer que a concentração de gases de efeito estufa é medida e comparada com base nesse ponto inicial ou de referência, que é o ano de 1750. É como se os estudos sobre a mudança do clima se dividissem entre o pré e o pós 1750, que é a data coincidente com o início da Revolução Industrial Moderna. Em 1750 a concentração do gás dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera era de 285ppm.

Desta forma, será comum encontrar, tanto nos relatórios do IPCC, como em outros estudos sobre o tema, frases que mencionem o período pré-industrial ou o ano 1750, como o ano de referência (*benchmark*). Por exemplo: *será necessário estabilizar as emissões em 400ppm, com base no período pré-industrial* ou *se prevê, para o final do século, que a concentração de gases dobrará se comparada com o que era no período pré-industrial*.

1.5 Nível de concentração dos gases

A partir dos anos 1950, começaram a ser feitas medições diretas da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Segundo o IPCC (2007a, p.138), os primeiros equipamentos utilizados para medir a concentração de CO₂ foram os analisadores de gases infravermelhos. Medições começaram a ser realizadas em Mauna Loa, no Havaí, em regiões oceânicas. Desde então vários programas governamentais de coleta e medição das concentrações foram empreendidos, nos hemisférios norte e sul.

A partir dos anos 1980 houve um reconhecimento da necessidade de se aumentar o número de pontos de coleta, de forma a abranger e evidenciar fontes de emissão também no interior dos continentes. Para baratear os custos, ao invés de se instalarem laboratórios em vários pontos, se decidiu pela simples coleta por meio de recipientes, que depois são enviados, em períodos semanais e contínuos, para laboratórios centrais. Esses coordenam redes de coletas e armazenam as observações em grandes bancos de dados internacionais, permitindo o acompanhamento das variações nas concentrações⁹.

Se as medições passaram a ser feitas de forma regular a partir dos anos 1950, como é possível que o IPCC estime a concentração de gases de efeito estufa antes disso, como por exemplo, no ano 1750? A resposta é: por meio das chamadas medições indiretas, a partir de bolhas de ar aprisionadas em placas de gelo polar, que são, na verdade, amostras congeladas do ar atmosférico (IPCC, 2007a, p.137). Por meio das bolhas congeladas se faz o levantamento de como era a composição do ar em épocas passadas e, assim, é possível se constatar o nível de concentração, mesmo que não tenham sido feitas medições diretas, em períodos remotos.

⁹ Para maiores informações sobre esses laboratórios e banco de dados ver IPCC (2007a, p.138).

1.6 Variações na temperatura média global

Além da medição da concentração dos gases, todos os dias, milhares de medições individuais de temperatura são realizadas ao redor do mundo, com o objetivo de produzir estimativas a respeito da temperatura média global. São coletadas milhares de temperaturas, das superfícies dos oceanos e de áreas continentais.

Essas medições evidenciam que a temperatura média global, nos últimos 100 anos, aumentou em 0.74°C, com aumento de 0.35°C até os anos 1940, diminuição de 0.10°C entre 1940 e 1979 e aumento de 0.55°C entre 1979 e 2005, como atesta o IPCC (2007a):

Pela média global, o aquecimento no último século ocorreu em duas fases, de 1910 a 1940 (0.35°C) e mais fortemente de 1970 até o momento (0.55°C). Uma taxa crescente de aquecimento ocorreu nos últimos 25 anos e 11 dos 12 anos mais quentes já registrados, ocorreram nos últimos 12 anos. Sob a superfície, observações globais desde o final dos anos 1950 mostram que a troposfera (até 10 km a partir da superfície) se aqueceu de forma levemente maior do que a superfície terrestre, enquanto que a estratosfera (entre 10 e 30 km a partir da superfície) passou por um processo de resfriamento, marcadamente a partir de 1979 [...] A confirmação da existência do aquecimento global, vem do aquecimento dos oceanos, do aumento dos níveis do mar, do derretimento das geleiras, da redução do oceano congelado do Ártico e da diminuição da cobertura de neve do Hemisfério Norte. (IPCC, 2007a, p.252, tradução nossa).

A correlação existente entre o aumento das emissões de gases de efeito estufa e o impacto que ele tem sobre a temperatura média global foi estudada por Arrhenius¹⁰. O químico sueco realizou experimentos que evidenciavam que a variação do CO₂ teria impacto na temperatura média da Terra. Em artigo escrito em 1896, Arrhenius proclamava que uma redução pela metade da concentração do ácido carbônico (CO₂ gasoso diluído em água), faria a temperatura média da Terra cair 5°C. Da mesma forma, ao se duplicar as concentrações de CO₂, a temperatura aumentaria 5°C.

As conclusões de Arrhenius foram criticadas por serem consideradas exageradas (WEART, 2006). Hoje, mais de um século depois, embora estudos posteriores tenham demonstrado falhas na teoria de Arrhenius, parece ela tinha uma boa dose de verdade. O mais

¹⁰ Foi o primeiro a observar o efeito estufa, correlacionando-o à absorção de calor pelo CO₂. Para maiores detalhes ver Arrhenius (1896).

recente relatório do IPCC (2007a, p.65) indica que a duplicação das concentrações de gases de efeito estufa, com origem no período pré-industrial, levará ao aumento médio da temperatura global entre 2 e 4.5°C, sendo o valor mais provável igual a 3°C.

1.7 Potencial de aquecimento global

Outra métrica importante no estudo do aquecimento global é o chamado potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential*)¹¹. O potencial de aquecimento global (PAG) é um índice relativo, usado para comparar os impactos para o clima de se emitir uma unidade adicional de um gás de efeito estufa, relativo à mesma quantidade emitida do gás dióxido de carbono (CO₂). Ele serve para escrever os gases estufa como equivalentes do CO₂.

Por meio do PAG pode-se medir o peso relativo e a nocividade dos vários gases de efeito estufa, quando comparados ao CO₂. Cada gás estufa tem sua própria capacidade de reter calor (eficiência radiativa ou potência de absorção) e seu próprio tempo de sobrevivência na atmosfera (tempo de vida ou de decaimento). Quanto maior a capacidade de reter calor e de persistir na atmosfera, maior é o PAG. Isso significa que, quanto maior é o PAG de um gás, mais potente ele é na sua contribuição para o aquecimento global (IPCC, 2007a).

A formulação matemática, para o cálculo do PAG, é complexa e foge às ambições desse trabalho. Antes do cálculo em si é necessário realizar experimentos de laboratório, com o objetivo de se medir a quantidade de energia absorvida pelo gás, bem como simular o ambiente atmosférico, de forma a se determinar o tempo de vida do composto no ambiente.

Uma vez que essas informações tenham sido determinadas é possível empregar as formulações matemáticas para se calcular o PAG. Por meio dele podemos estabelecer uma relação entre os vários gases de efeito estufa e o CO₂. O objetivo do PAG é justamente permitir representar tais gases como se fossem partículas do CO₂. O IPCC (2007a, p.212) apresenta os valores já calculados do PAG, de diversos gases de efeito estufa, escritos na

¹¹ Para uma discussão ampla sobre o potencial de aquecimento global (PAG) ver IPCC (2007a, p.210-216)

forma de equivalentes de CO₂ – utiliza-se a abreviação CO_{2eq}. Um resumo do resultado dos cálculos é mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Potencial de aquecimento global (PAG) de gases selecionados

Composto	Fórmula química	Tempo de vida (anos)	PAG (para 100 anos)
Dióxido de carbono	CO ₂	100	1
Metano	CH ₄	12	25
Óxido nitroso	N ₂ O	297	298
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	3.200	22.800
CFC-11	CCl ₃ F	45	4.750
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	10.900
PFC-14	CF ₄	50.000	7.390
PFC-116	C ₂ F ₆	10.000	12.200

Fonte: IPCC (2007a, p.212)

Notas: Compostos e informações livremente selecionadas pelo autor à partir do relatório do IPCC.

O PAG geralmente é calculado para 100 anos, ou seja, buscando-se medir o impacto do gás ao longo do período de 100 anos na atmosfera. Isso é o que é mostrado na coluna 4 da tabela. Alguns estudos calculam o PAG dos gases para períodos de 20 e 500 anos (ver IPCC 2007a)

O PAG mostrado na tabela 2 indica que o gás CH₄ é 25 vezes mais potente que o CO₂. Isso significa dizer que emitir 1 quilograma de CH₄ equivale a emitir 25 quilogramas de CO₂. O mesmo raciocínio é válido para os demais gases: a emissão de um quilograma do gás SF₆ equivale a emitir 22.8 toneladas de CO₂. A emissão de 1 quilograma do gás clorofluorcarbono-12, CFC-12, equivale à emissão de 10.9 toneladas de CO₂. Portanto, escrever os gases de efeito estufa como equivalentes do CO₂ permite estabelecer o grau de nocividade desses gases e também serve como um bom indicador de eventuais ações a tomar, para evitar suas emissões deliberadas na atmosfera.

1.8 O sistema climático

O sistema climático é um conjunto de interações complexas, formado pela atmosfera, pela superfície da Terra, pela neve, pelas geleiras, oceanos, outros corpos de água e corpos vivos. Ele evolui ao longo do tempo e relaciona uma série de eventos tais como a temperatura, a precipitação de água e os ventos (SCHNEIDER, 1989, p.89-91). Ele sofre a influência de forças internas e externas. As forças internas têm origem natural, como as erupções vulcânicas e as variações na incidência solar. Maior incidência de calor solar aumenta a temperatura média da Terra e ocorre independente da ação do homem. Assim como uma erupção, que

também afeta a temperatura média global, mas é um fenômeno natural, independente da ação do homem.

Forças externas são aquelas provocadas pelo homem, tais como a mudança na composição dos gases que formam a atmosfera ou a mudança das paisagens naturais e suas coberturas (IPCC, 2007a, p.96).

A radiação solar potencializa o sistema climático. Existem três formas de alterar o equilíbrio do sistema climático: i) mudando a intensidade de radiação solar que entra na Terra (fenômeno natural); ii) mudando a fração de radiação solar que é refletida, antes de entrar na atmosfera (fenômeno que está ligado aos gases aerossóis e tem componentes naturais e não naturais) e iii) alterando a fração da radiação refletida e retida pela superfície. Esse último é o que se relaciona com o chamado efeito estufa; o aumento da concentração desses gases os leva a absorver maior quantidade de calor, elevando a temperatura do sistema climático (fenômeno não natural, quando tem origem antropogênica).

Segundo o IPCC (2007a, p.96), aproximadamente 30% da radiação proveniente do sol é refletida de volta para espaço na forma de radiações ultravioletas (ondas eletromagnéticas curtas, que não portam calor). Isso é feito pela ação das nuvens e aerossóis, presentes na atmosfera. Significa que tais radiações sequer entram na superfície da Terra; se colidem com a camada de gases e retornam para o espaço.

Os outros 70% da radiação entram na atmosfera e se transformam. Chegam na Terra na forma de radiações ultravioletas e se transformam em radiações infravermelhas (ondas eletromagnéticas longas, portadoras de calor), quando atingem a superfície. Ao se transformarem em radiações infravermelhas, essas ondas são reemitidas pela Terra e refletidas no sentido do espaço. Se elas simplesmente deixassem o planeta, haveria perda de calor e de temperatura na superfície e na atmosfera, deixando o planeta mais frio. Entretanto, esse calor não deixa a Terra devido ao efeito estufa. Os gases presentes na atmosfera, que absorvem a radiação infravermelha, são chamados de gases de efeito estufa.

O sistema de clima está sujeito a uma série de mecanismos de realimentação (*feedbacks*) que podem amplificar ou reduzir os efeitos de mudança do clima e da temperatura. O *efeito estufa reforçado*, por exemplo, eleva a temperatura média global e

provoca o derretimento de áreas cobertas com gelo e neve (IPCC, 2007a, p.97). Essas áreas, uma vez descobertas, deixam as superfícies expostas à incidência e a absorção de raios solares, que de outra forma seriam refletidos na forma de ondas curtas, isentas de calor. Entretanto, uma vez descoberta, a superfície absorve essas ondas e as transformam em ondas eletromagnéticas longas (radiação infravermelha, calor) que, reemitidas, são absorvidas pelos gases estufa na atmosfera, provocando a elevação da temperatura média novamente. Esta provoca mais derretimento na superfície, que gera mais calor e, num efeito multiplicador, amplia cada vez mais o fenômeno do efeito estufa, de uma maneira cíclica em que calor gera ainda mais calor (STERN, 2006, p.12-14).

1.9 Os gases de efeito estufa

Os gases mais abundantes na atmosfera terrestre são o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2). Eles representam, respectivamente, 78% e 21% dos gases que constituem a atmosfera. O 1% restante se compõe de vários outros gases, dentre eles os que contribuem para o equilíbrio térmico da Terra.

Os gases que favorecem o efeito estufa, natural ou reforçado, são os vapores de água, em primeiro lugar, o dióxido de carbono (CO_2) em segundo, seguido depois pelos gases metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3) (IPCC, 2007a, p.115). Destes CO_2 , CH_4 , N_2O e alguns gases a base de flúor, como o SF_6 (hexafluoreto de carbono), são conhecidos na literatura com o nome de gases de efeito estufa. Diferente dos vapores de água e do ozônio, esses gases têm se acumulado na atmosfera, de maneira mais intensa, devido às emissões não naturais, realizadas pelo homem.

Qualquer alteração significativa na constituição da atmosfera, especialmente desses gases emitidos pelo homem, pode aumentar o efeito do aquecimento global, já que um maior volume desses gases significa também maior quantidade de calor absorvido ou bloqueado dentro da atmosfera terrestre. Isso leva ao aumento da temperatura média global.

1.10 A ação antropogênica sobre o clima

Há evidências de que, à partir do período pré-industrial, houve aumento gradativo na emissão dos gases CO₂, CH₄, N₂O e de alguns gases fluorados (utilizados em refrigeradores, geladeiras, aparelhos de ar condicionado e equipamentos de distribuição elétrica de média e alta tensão). Tal aumento é creditado às emissões feitas pelo homem, a partir de processos industriais, atividades de sobrevivência e atividades econômicas.

No caso do CO₂ o aumento das emissões se deve à intensificação do uso de combustíveis fósseis (carvão, gás e petróleo) nas atividades de produção de energia, transporte e produção de cimento. Assim como, da maior liberação de gases devido às queimadas de florestas e destruição de coberturas vegetais (IEA, 2006).

A redução das áreas plantadas, por causa de queimadas, urbanização ou processos naturais de decomposição, impede a reciclagem do CO₂. As plantas têm a capacidade de retirar o CO₂ da atmosfera quando realizam a fotossíntese (IPCC, 2007a, p.116). A destruição de grandes reservas de plantas e florestas impede, assim, que o estoque de CO₂ na atmosfera seja reduzido ou seqüestrado¹².

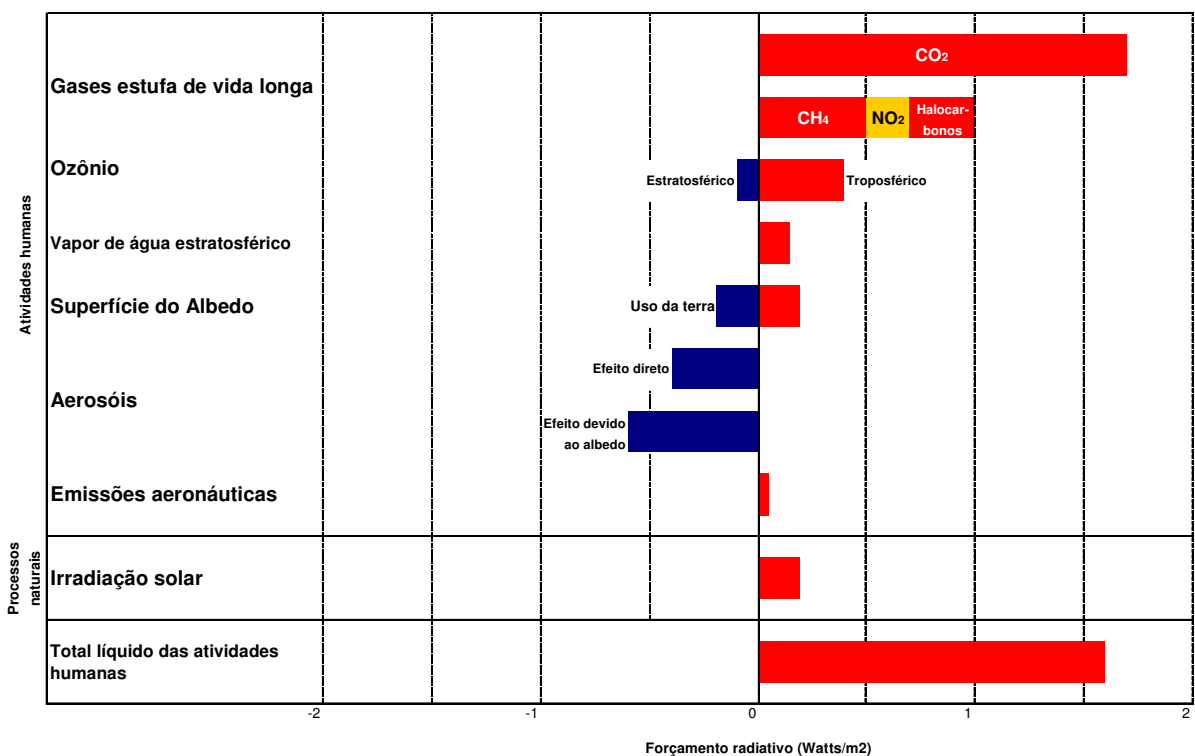
As atividades humanas têm mudado a concentração de gases estufa na atmosfera. Isso interfere na composição das nuvens (vapores de água), alterando o sistema climático e o efeito estufa natural. Maior quantidade de gases de efeito estufa implica em maior quantidade de calor retido na atmosfera, aumentando, assim, o fenômeno do aquecimento global e gerando o chamado *efeito estufa reforçado*.

A figura 1, reproduzida a partir do relatório do IPCC, mostra a participação relativa de cada um dos gases que contribuem para o aquecimento ou resfriamento global. A conclusão é que, em termos líquidos, o forçamento radiativo, devido às atividades humanas, supera em muito os processos naturais de alteração climática.

¹² Esse termo é muito utilizado na literatura especializada para expressar a capacidade das plantas de retirar o CO₂ da atmosfera por meio do seu processo de respiração e crescimento. Também é utilizado o termo *captura de CO₂*. Para maiores detalhes ver IPCC (2005).

As emissões de gases de efeito estufa de vida longa, devido às atividades antropogênicas, apresentam a maior contribuição relativa para o forçamento radiativo positivo global, segundo a figura 1. Ela mostra ainda que apenas uma pequena parcela de irradiação solar, de origem não antropogênica, contribui para o aquecimento global, na forma de maior forçamento radiativo. A grande parcela de calor, acumulada na atmosfera, se deve às emissões antropogênicas de gases CO₂, CH₄, NO₂, halocarbonos (gases que contém flúor, cloro e bromo) e emissões aeronáuticas.

Figura 1 – Forçamento radiativo no período 1750 e 2005



Fonte: IPCC (2007a, p.136 e p.203)

Notas: A figura foi adaptada pelo autor com base na publicação original do IPCC (2007a)

Albedo é a razão entre a energia incidente e a energia refletida pela superfície

Dentre as atividades humanas que mais alteram a composição dos gases atmosféricos, destacam-se as emissões dos quatro principais grupos de gases de efeito estufa: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os gases halocarbonos¹³. Todos esses gases tiveram suas concentrações aumentadas a partir da era pré-industrial e esse aumento é atribuído a atividades antropogênicas. Além disso, quando as concentrações desses gases aumentam, a temperatura média da terra também aumenta. Isso interfere na velocidade e no

¹³ Para uma síntese dos gases de efeito estufa, antropogênicos e naturais, e uma explicação dos processos que geram sua presença na atmosfera ver IPCC (2007a, p. 135).

ciclo de funcionamento dos vapores de água presentes na atmosfera, favorecendo maior intensidade de chuvas intensas, tempestades e furacões, os chamados eventos extremos do clima.

É possível observar, pela figura 1, que os gases de efeito estufa aumentam o forçamento radiativo de maneira positiva – aumentam a carga de calor em watts por metro quadrado na superfície do planeta. Isso significa que eles elevam a temperatura média na Terra. Também na figura 1 é possível observar a perturbação que o homem causa na atmosfera por meio do aumento de emissões de gases aerossóis. Sua contribuição é negativa para o forçamento radiativo, ou seja, os aerossóis resfriam a temperatura. Isso ocorre porque os aerossóis impedem a entrada da radiação do sol na Terra e inviabilizam posteriormente o *efeito estufa natural ou reforçado*. Embora isso seja positivo, do ponto de vista do aquecimento global, o aumento da concentração de gases aerossóis, como os clorofluorcarbonos (CFCs) contribuem para a piora de outro fenômeno climático: a destruição da camada de ozônio. Portanto, é indesejável combater o aquecimento global com a emissão de aerossóis, já que um segundo problema climático emerge.

Os processos naturais de emissão de CO₂, tais como a fotossíntese, a respiração, a troca de gases entre a superfície e a atmosfera e a troca de gases entre atmosfera e o oceano não são suficientes para explicar o aumento da concentração de CO₂ nos últimos 25 anos. Esse aumento só pode ser explicado pelas atividades do homem (IPCC, 2007a, p.512-513).

Distinguir o CO₂ proveniente de processos naturais daqueles produzidos pela atividade humana é possível por meio da análise da composição dos carbonos presentes na molécula do CO₂. Isso é feito quantificando a relação de isótopos¹⁴ naturais do carbono, pelo uso da técnica de espectroscopia de massa (IPCC, 2007a, p.139).

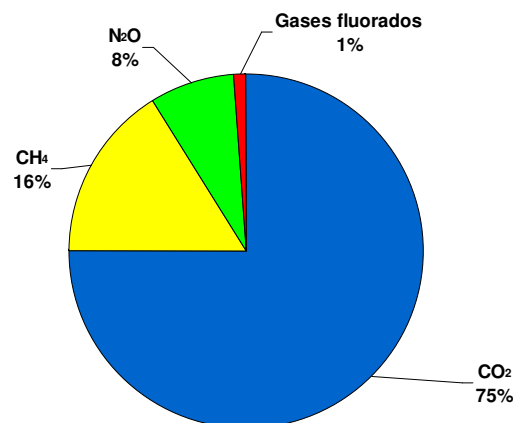
Numa molécula de CO₂, existem dois tipos de átomos de carbono, o ¹²C e ¹³C. As moléculas de CO₂ de origem natural têm em sua composição 99% de átomos de carbono ¹²C e 1% de átomos de ¹³C. As moléculas de CO₂ emitidas por meio da queima de combustíveis

¹⁴ Os elementos químicos são constituídos de prótons, nêutrons e elétrons. Isótopos são elementos químicos que têm a mesma quantidade de prótons no seu núcleo, mas diferentes quantidades de nêutrons. No caso do carbono presente numa molécula de CO₂, há a ocorrência natural de 99% de carbono 12 (¹²C) e 1% de carbono 13 (¹³C). Isso significa que na molécula de CO₂ existem carbonos, em maior abundância, do tipo ¹²C, constituído de 6 prótons e 6 nêutrons, e menor abundância do tipo ¹³C, constituído de 7 nêutrons e 6 prótons.

fósseis, tais como o carvão, o gás e o petróleo, têm uma quantidade menor de átomos de ^{13}C . Então, ao se analisar a composição atmosférica e se constatar que a quantidade de ^{13}C é menor do que 1%, previsto para o CO_2 de origem natural, significa que as moléculas de CO_2 são provenientes de emissões antropogênicas, de origem fóssil.

Segundo o IPCC (2007a, p.512), o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera é apontado como decorrentes da atividade do homem. Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2006), representados na figura 2, mostram que o CO_2 responde por 75% dos gases estufa emitidos. O CH_4 representa 16%, o N_2O 8% e os gases fluorados 1%.

Figura 2 - Emissões de gases de efeito estufa até 2004 (GtCO₂eq/ano)



Fonte: IEA (2006, p.4)

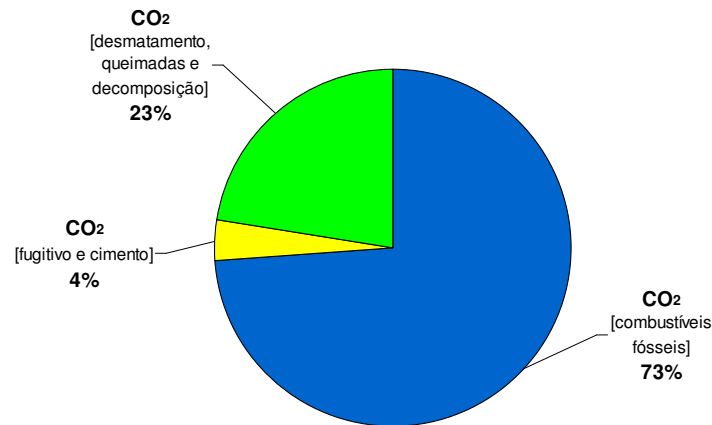
Notas: O termo GtCO₂ significa gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes, ou seja, um milhão de toneladas emitidas pelos diversos gases de efeito estufa, escritos como equivalentes do gás dióxido de carbono

É possível também compreender em que medida a atividade do homem tem contribuído para o aumento das emissões dos gases de efeito estufa, observando as emissões de cada gás por origem de emissão. A figura 3, baseada em dados do IPCC (2007c, p.28), mostra esta divisão das emissões do CO_2 por atividade.

A queima de combustíveis fósseis, em atividades de geração de energia e transporte, representa 73% das emissões do CO_2 . A derrubada de florestas naturais, as queimadas e a decomposição das plantas, quando em fim de vida, representam 23% das emissões. O

desprendimento de CO₂ proveniente da mineração de carvão, exploração de gás natural e produção de cimento respondem pelos 4% restantes.

Figura 3 - Emissões de CO₂ por fonte de emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano)



Fonte: IPCC (2007c, p.28).

Notas: Adaptado pelo autor. O gráfico original apresenta a participação percentual de todos os gases de efeito estufa; CO₂, CH₄, N₂O e gases fluorados. Para mostrar apenas a contribuição do CO₂ foram retirados os demais gases e recalculado os novos percentuais com base no total apenas do CO₂.

O termo GtCO₂ significa gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes, ou seja, um milhão de toneladas emitidas pelos diversos gases de efeito estufa, escritos como equivalentes do gás dióxido de carbono

Além desses dados do IPCC (2007c) e do IEA (2006), outro dado que chama atenção é encontrado no trabalho de Dietz et al. (2007). Esses autores defendem a necessidade urgente de empreender ações para reduzir as emissões, com o risco de que, ao não fazê-lo, estejamos impondo pesados danos às gerações futuras. Um dado importante, levantado pelos autores, trata das emissões de gases estufa e da capacidade da Terra em reciclar ou absorver esses gases por processos naturais (fotossíntese, por exemplo). Os dados que eles apresentam são representativos do que estamos discutindo nesta seção do nosso trabalho. Dizem os autores:

O mundo atualmente emite 40 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes (Gt CO₂eq) por ano. Isso é suficiente para aumentar o estoque de gases de efeito estufa na atmosfera, que atualmente é de aproximadamente 425 ppm de CO₂eq, em aproximadamente 2 a 2.5 ppm por ano. Para estabilizar o estoque de gases de efeito estufa, as emissões deveriam ser reduzidas para 5 GtCO₂eq, que representa a capacidade natural da Terra, por ano, de absorver os gases de efeito estufa (DIETZ et al., 2007, p.126, tradução nossa).

Os dados são reveladores da situação em que nos encontramos no momento: atualmente a Terra é capaz de suportar 5 GtCO₂eq e as emissões geram 40 GtCO₂eq, sendo a maior parte destas, geradas por ações antropogênicas. Estamos emitindo nada menos do que

700% a mais de gases de efeito estufa que o nosso planeta pode suportar – 40 GtCO₂eq versus 5 GtCO₂eq. Nas figuras seguintes, constata-se que a maior parte das emissões tem origem em atividades desenvolvidas pelo homem, seja na produção direta de algum tipo de atividade econômica, seja na forma de subprodutos dessa atividade como, por exemplo, na produção de energia ou decomposição do lixo, respectivamente.

A figura 4 apresenta as emissões do gás metano (CH₄), também por origem de atividade. A produção de energia representa 36% das emissões, 43% têm origem em atividades agrícolas tais como a criação de gado¹⁵ e na plantação de arroz, 18% provém das emissões que se desprendem de aterros sanitários e processos de tratamento de esgoto. 3% das emissões têm origem em processos industriais e queimadas de regiões de savana (IEA, 2006, p.40; IPCC, 2007c, p.28).

Figura 4 - Emissões de CH₄ por fonte de emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano)



Fonte: IEA (2006, p.4)

Notas: O termo GtCO₂ significa gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes, ou seja, um milhão de toneladas emitidas pelos diversos gases de efeito estufa, escritos como equivalentes do gás dióxido de carbono.

O crescimento econômico e a mudança no estilo de vida dos países em desenvolvimento aumentam a demanda por carne e produtos perecíveis. A criação intensiva de gado torna-se uma necessidade para atender essa demanda. O IPCC (2007c, p.63) relata

¹⁵ O gado libera o gás CH₄ durante a fermentação entérica, que é o processo de digestão dos animais, pelo qual parte da dieta deles transforma-se em gás metano, sendo liberado na atmosfera, por meio do arroto. O esterco do gado é outra fonte de CH₄.

que em alguns países em desenvolvimento, o consumo *per capita* de carne aumentou de 11 para 24 quilos, entre 1967 e 1997. Um crescimento médio de 5% ao ano. Essa mudança no padrão de consumo tem impactos sobre o clima, já que, ao longo do período de criação, o gado emite CH₄, que é um gás vinte e cinco vezes mais potente do que o CO₂. Particularmente sobre o CH₄, dados do IEA (2006, p.40) mostram que China, Índia e Brasil são os maiores emissores de CH₄ relacionado a atividades agrícolas¹⁶.

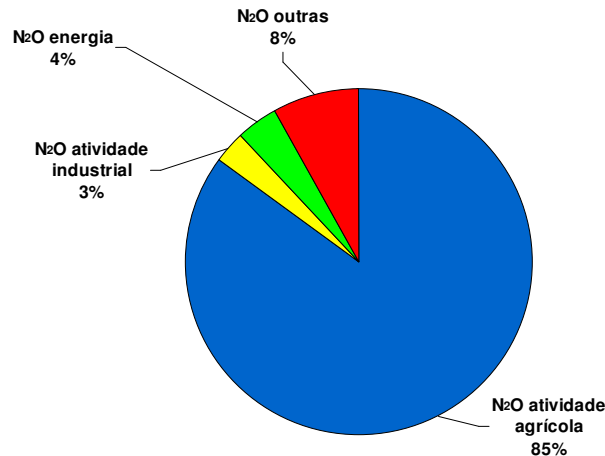
A emissão de CH₄, devido à produção de lixo se relaciona com o crescimento da população, com o processo de urbanização e com o aumento do padrão de vida. O chamado lixo pós-consumo se estabiliza no mundo desenvolvido, mas cresce nos países em desenvolvimento (IPCC, 2007a, p.71). Isso gera uma quantidade de restos, que são armazenados em aterros e lixões. A decomposição desse lixo emite gás CH₄.

Fica claro que o conjunto de ações promovidas pela atividade e pelo desenvolvimento econômico, interfere no equilíbrio natural do meio ambiente ao gerar subprodutos, que catalisam uma maior emissão de gases, aumentando o *efeito estufa reforçado*.

A figura 5 mostra que 85% das emissões do gás N₂O se deve ao uso de fertilizantes na atividade agrícola e tem um forte fator antropogênico. O aumento do seu uso decorre da sua utilização nas lavouras com o objetivo de aumentar a produtividade dos solos e tornar a atividade agrícola mais eficiente, do ponto de vista econômico. Atividades industriais e de geração de energia respondem por 7% das emissões do N₂O.

¹⁶ A Índia, por motivos religiosos, tem um grande rebanho que não é abatido. O Brasil tem um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, formado e mantido com objetivos econômicos, já que é um dos maiores exportadores de carne bovina atualmente.

Figura 5 - Emissões de N₂O por fonte de emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano)

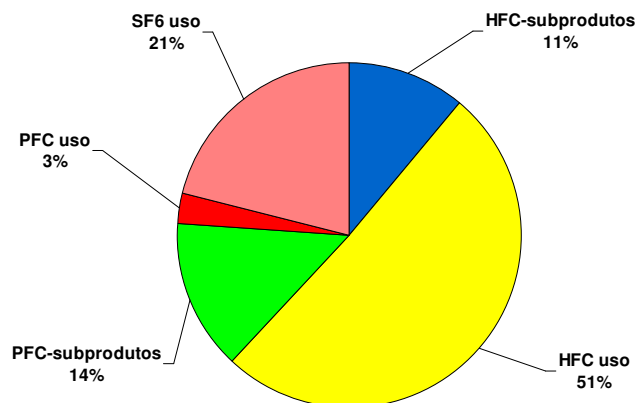


Fonte: IEA (2006, p.4)

Notas: O termo GtCO₂ significa gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes, ou seja, um milhão de toneladas emitidas pelos diversos gases de efeito estufa, escritos como equivalentes do gás dióxido de carbono.

A figura 6 apresenta as emissões dos gases fluorados. Segundo o IEA (2006), a emissão de perfluorcarbonos (PFC) se deve à produção de alumínio (na forma de subproduto) e à fabricação de semicondutores (uso direto). As emissões de hexafluoreto de enxofre (SF₆) provêm do uso do composto em equipamentos de distribuição elétrica de média e alta tensão. A maior parte das emissões de gases fluorados tem origem nos hidrofluorcarbonos (HFC), que são utilizados na indústria como gás refrigerante, em aparelhos de ar-condicionado e em geladeiras. Muitos desses gases também destroem a camada de ozônio.

Figura 6 - Emissões dos gases fluorados por fonte da emissão até 2004 (GtCO₂eq/ano)



Fonte: IEA (2006, p.4)

Notas: O termo GtCO₂ significa gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes, ou seja, um milhão de toneladas emitidas pelos diversos gases de efeito estufa, escritos como equivalentes do gás dióxido de carbono

1.11 Aumento na concentração dos gases e os seus impactos econômicos

Qual a ligação que existe entre as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa e o aumento dos danos econômicos decorrentes dessas emissões? Essa é a pergunta chave para começar a entender como os efeitos do aquecimento global podem ser traduzidos em valores na forma de equivalentes de consumo¹⁷ (*valuation* do dano). Esse tema será desenvolvido mais em detalhes no capítulo seguinte, mas começaremos aqui com uma pequena introdução.

O aumento das emissões de gases de efeito estufa leva ao aumento da temperatura média global da Terra, já que os gases, em maior quantidade, absorvem também maiores parcelas de radiação infravermelha (calor). Esse calor, aprisionado na atmosfera terrestre, interfere no equilíbrio de diversos fenômenos naturais. Ele causa maior intensidade na precipitação de chuvas, provoca o derretimento de coberturas de gelo e neve, aumenta a incidência das estiagens, provoca frentes de frio e calor intensas, provoca aumento no número de mortes devido a esses fenômenos, entre outros (IPCC, 2007a).

Fenômenos extremos deverão provocar o aumento no número de mortes por desnutrição, inundações, doenças respiratórias e traumas pós-fenômenos naturais (furacões e tufões) (IPCC, 2007b, p.68).

O IPCC faz projeções sobre possíveis caminhos ou tendências de emissões de gases estufa, construindo alguns cenários de aumento das concentrações e seus impactos na temperatura. Uma dessas projeções é mostrada na tabela 3. Ela é ilustrativa de como o aumento das concentrações leva ao aumento da temperatura.

¹⁷ Conforme mencionamos previamente utilizaremos o termo *equivalentes de consumo* para expressar a transformação dos danos naturais em valores na forma de numerários.

Tabela 3 – Cenários de emissões e o impacto sobre a temperatura média global

Categoria	Forçamento radiativo adicional (W/m ²)	Concentração de CO ₂ (ppm)	Concentração de CO _{2eq} (ppm)	Aumento da temperatura média global acima do nível pré-industrial - "melhor estimativa" (°C)	Mudança nas emissões de CO ₂ em 2050 (% das emissões do ano 2000)	Número de cenários levantados
I	2,5 - 3,0	350 - 400	445 - 490	2,0 - 2,4	-85 a -50	6
II	3,0 - 3,5	400 - 440	490 - 535	2,4 - 2,8	-60 a -30	18
III	3,5 - 4,0	440 - 485	535 - 590	2,8 - 3,2	-30 a -5	21
IV	4,0 - 5,0	485 - 570	590 - 710	3,2 - 4,0	+10 a +60	118
V	5,0 - 6,0	570 - 660	710 - 885	4,0 - 4,9	+25 a +85	9
VI	6,0 - 7,5	660 - 790	885 - 1130	4,9 - 6,1	+90 a +140	5
Total						117

Fonte: IPCC (2007c, p.39)

Notas: Reprodução fiel da tabela do IPCC, apenas sem as notas apresentadas no trabalho original. Aqui o autor resolveu suprimilas por não servirem ao contexto explicativo deste trabalho.

A tabela mostra seis categorias ou cenários, que se associam à mudança no perfil de emissões do CO₂. A categoria I mostra quais seriam os impactos em termos de forçamento radiativo e aumento da temperatura se ocorresse uma mudança no perfil de emissões no ano 2050. Nesta categoria, se houvesse em 2050, uma redução entre 85 a 50% das emissões de CO₂, a temperatura média global aumentaria, na melhor estimativa¹⁸, entre 2.0 e 2.4°C.

Num cenário menos preocupado com a redução das emissões, por exemplo, no cenário V, em que se prevê aumento das emissões entre 25 e 85%, as concentrações de CO_{2eq} girariam em torno de 710 e 885ppm. Isso significaria um aumento do forçamento radiativo entre 5 e 6 W/m² e uma elevação da temperatura média entre 4.0 e 4.9°C no ano 2050.

Esse exercício do IPCC sugere também que a não adoção de medidas, com o objetivo de reduzir a quantidade emissões, levará ao aumento contínuo do forçamento radiativo e da temperatura média global. O cenário III é o mais parecido com o perfil de estabilização das emissões, já que ele preconiza uma redução entre 30% e 5% nas emissões de gases até o ano 2050, em relação ao ano 2000. Mesmo considerando esse cenário, a temperatura poderia ter um aumento médio entre 3.2 e 4.0°C, o que, ainda assim, traria sérios impactos para o clima e para a vida no planeta.

Projeções como as descritas na tabela 3 são utilizadas para se levantar estimativas de dano, na forma de equivalentes de consumo. Mede-se a concentração histórica das emissões,

¹⁸ Aqui, *melhor estimativa* significa a média do número de estudos ou cenários utilizados na análise. A última coluna da tabela mostra a quantidade de estudos que foram utilizados para a obtenção dessa *melhor estimativa*.

se estabelece uma tendência ou perfil para as emissões no futuro (o chamado cenário de emissões, perfil de desenvolvimento ou modelo de crescimento). Esse perfil causará o aumento da temperatura média global e provocará uma série de danos naturais. Nesta etapa, os estudiosos fazem a *valuation* desses danos. Para isso, usam micro-modelos¹⁹, não-econômicos, com o objetivo de medir impactos naturais e sociais que são, depois, transformados em algum tipo de numerário ou equivalentes de consumo pelos economistas.

Esse é um descritivo simplificado de como o processo de *valuation* ou de cálculo dos equivalentes de consumo se dá. No próximo capítulo nos ateremos a estudar esse processo de estimação.

1.12 Comentários finais

Neste capítulo, buscou-se evidenciar o que causa o fenômeno do aquecimento global, bem como, mostrar a participação do homem nesse processo de mudança do clima. Evidências fortes mostram que as ações do homem tem sido determinantes no processo de intensificação da elevação da temperatura média global do nosso planeta (IPCC, 2007a; IPCC, 2007c; IEA, 2006; DIETZ et al., 2007).

Na busca de conforto, de bem-estar e de acumulação de riqueza, o homem tem provocado o aumento das emissões de gases de efeito estufa. Essas emissões têm provocado a elevação do clima na Terra e causado uma série de danos naturais, que detalharemos no próximo capítulo desse trabalho. Mesmo sabendo que o sistema climático é pleno de incertezas e de interações complexas, nós concordamos com as teses do IPCC de que há evidências suficientes para creditar ao homem, as mudanças na temperatura e no clima, pelos quais o planeta tem passado a partir do período pré-industrial.

¹⁹ Modelos criados para observar algum fenômeno natural ou consequência causada pelo aquecimento global. À partir deles busca-se obter os danos materiais ou econômicos.

2. OS CÁLCULOS DE DANO DEVIDO AO AQUECIMENTO GLOBAL

O elo essencial que existe, em todos os modelos e cálculos que buscam estimar os danos do aquecimento global, parte da seguinte ordem de fatos: i) as emissões de gases de efeito estufa aumentam as concentrações atmosféricas e alteram o forçamento radiativo da Terra; ii) a maior concentração de gases altera a temperatura média do planeta; iii) a maior temperatura afeta o clima e causa danos naturais e iv) os danos naturais causarão danos econômicos.

Os danos naturais mais comuns, relatados na literatura, são a elevação do nível do mar, que causa inundações de regiões costeiras, ilhas, regiões baixas, e as alterações dos fluxos naturais de evaporação. Essas alterações, por sua vez, causam maior frequência e intensidade na precipitação de chuvas, neve e tempestades.

As inundações trazem danos ao capital e aos ecossistemas. As alterações nos fluxos de evaporação catalisam fenômenos extremos do clima, tais como tempestades, geadas, furacões e ciclones, que por sua vez, causam danos sócio-econômicos e destruição. Traduzir essas consequências do aquecimento global em valores equivalentes de consumo é uma tarefa árdua, que demanda uma série de simplificações e extrapolações no momento do cálculo. Além disso, não é somente a elevação do nível do mar e a mudança nos ciclos de evaporação que causam danos. Na sequência desse capítulo descreveremos uma série de outras categorias de danos.

Um número considerável de hipóteses simplificadoras deve ser adotado para se estimar os danos, em equivalentes de consumo, que o aquecimento global provoca nos mercados e na economia mundial. Isso ocorrerá, pois os mercados se vulnerabilizarão frente à mudança climática (HOWARTH e MONAHAN, 1992, p.25).

Além da adoção de hipóteses simplificadoras e aproximações (veremos a partir da seção 2.3), um fator que tem sido motivo de discussão é saber se todos os danos e externalidades do aquecimento global estão sendo incluídos nos estudos. A discussão é pertinente já que, vários cálculos de dano deixam de estimar os equivalentes de consumo dos

chamados *danos não-mercado* (*non-market impacts*) ou danos intangíveis. Muitos estudos apenas estimam os chamados danos com preços dados no mercado²⁰. Além disso, a maioria dos estudos não inclui os chamados danos dos fenômenos extremos, nem os *danos socialmente condicionados* (*socially contingent impacts*).

Fenômenos extremos são os furacões, estiagens, tormentas e inundações. *Danos socialmente condicionados* são efeitos que decorrem dos eventos extremos do clima, tais como guerras, pobreza, deslocamentos e fugas de áreas atingidas. Esses dois tipos de danos trarão impactos, tais como, processos migratórios intensos, interrupção de atividades econômicas, degradação da saúde da população devido à maior incidência de doenças transmitidas por vetores, etc. Howarth e Monahan (1992, p.21) relatam que as perdas econômicas serão maiores, em termos absolutos, nos países ricos, mas ponderado (*equity weighted*) pela renda regional, em termos do produto nacional, os desastres extremos podem ser 20 a 30 vezes maiores nos países do sul (países mais pobres). Os danos ponderados serão objeto de nosso interesse no próximo capítulo.

Eventos grandiosos é outro tipo de dano que ainda não é considerado pela maioria dos estudos que calculam os danos decorrentes do aquecimento global. Howarth e Monahan (1992, p.22-23) e Watkiss et al. (2006, p.17), por exemplo, descrevem os chamados riscos e incertezas devido à ultrapassagem de certos limites do clima²¹. Tais limites, se ultrapassados, deixarão de ter impactos de comportamento linear ou gradual e podem trazer conseqüências imprevisíveis, de forma que o impacto assumirá características de uma função geométrica, em que o incremento marginal de uma unidade de carbono na atmosfera resultará em incrementos

²⁰ Essa distinção entre danos tangíveis e intangíveis aparece em Tol (1996, p.75). Para o autor, danos tangíveis são aqueles dados ou tomados nos mercados, tais como os bens agrícolas. Bens intangíveis são aqueles não definidos nos mercados, que são de difícil quantificação, tais como o preço das paisagens naturais e da biodiversidade. Segundo Tol, os bens intangíveis se comparam aos tangíveis por meio da atribuição de algum valor a eles. Nesse trabalho nos referiremos aos danos intangíveis usando a designação mais encontrada na literatura: *danos não-mercado*.

²¹ Watkiss et al. (2006, p.17) chamam esses limites de *mudanças e surpresas no sistema climático, eventos grandiosos* (*major events*) ou *eventos potencialmente catastróficos*. Tais eventos estão relacionados a retroalimentações e dinâmicas de grande escala, incapazes de serem previstos atualmente. Têm haver com a idéia de que o clima reagirá de uma forma imprevisível ao aquecimento global, provocando grandes alterações nos sistemas de circulação atmosférica e liberando no meio ambiente mais gases de efeito estufa, hoje armazenados em depósitos naturais, em determinadas regiões do mundo. Por exemplo, o colapso das calotas de gelo da Antártida Ocidental, poderá liberar grandes quantidades de gás de efeito estufa metano, que hoje estão aprisionados nos chamados *permafrosts* e *clathrates* – depósitos sedimentares, ricos em CH₄ e material orgânico, que estão presos e enterrados em formações geológicas geladas. Com o aumento da temperatura média global, no longuíssimo prazo, essas formações poderiam entrar em colapso e liberar o gás na atmosfera, em grandes quantidades, aumentando ainda mais a intensidade do efeito estufa, já que o gás CH₄ é 25 vezes mais potente que o CO₂. Uma descrição mais detalhada sobre o assunto pode ser encontrado em Schneider (1989, p.74-75).

não marginais de danos (as chamadas mudanças grandiosas ou potencialmente catastróficas). A emissão de uma unidade adicional de gás estufa causará maior dano do que a molécula emitida em momento anterior (HOWARTH e MONAHAN, p.22-23). Esses tipos de danos, provenientes de eventos grandiosos, são de difícil estimação, e atualmente não são capturados pelos modelos e cálculos de danos econômicos.

Um quadro esclarecedor sobre esses temas é encontrado em Watkiss et al. (2006, p.18), em que os autores mostram a chamada matriz de risco do custo social do carbono. A figura 7 apresenta a matriz, que mostra o quão incerto é o cálculo ou as estimativas, à medida que dano deixa de ser um *dano de mercado* e migra para *danos não-mercado* ou *socialmente condicionados* (flecha apontando para a direita, no eixo horizontal da figura). Da mesma forma, danos associados a eventos extremos do clima e eventos grandiosos (flecha apontando para abaixo no eixo vertical da figura), também tendem a ser mais difíceis de serem estimados.

Figura 7 - Matriz de riscos e incertezas nas estimativas do dano

		Incerteza na estimação 			
		Mercado	Não-mercado	Socialmente condicionados	
Incerteza na previsão da mudança do clima 	Projeção (elevação do nível do mar)	Proteção costeira	Estresses de calor	Custos regionais	
		Perda de terra seca	Perda de terra úmida	Investimentos	
		Energia (calefação/ar-condicionado)			
	Riscos associados a fenômenos extremos (estiagens, inundações, tempestades)	Agricultura	Mudanças nos ecossistemas	Vantagens comparativas	
		Água	Biodiversidades	Estruturas de mercado	
		Variabilidade (estiagens, inundações, tempestades)	Perda de vidas		
	Surpresas e mudanças no sistema (Eventos grandiosos)	Sua ultrapassagem implica em significativas perdas de terra e recursos	Efeitos não marginais	Efeitos sociais secundários	Colapso regional
				Efeitos sociais de mais alta ordem	
		Perdas irreversíveis			

Fonte: Watkiss et al. (2006, p.18)

Notas: Adaptado e traduzido livremente pelo autor.

A maioria dos estudos consegue prever com precisão os danos de mercado ligados à elevação do nível do mar. Há vários estudos que tratam desse tipo de estimação com riqueza de detalhes (CLINE, 1992). Entretanto o grau de incerteza é grande quando as categorias de danos estão associadas a outros tipos de danos. A figura 7 indica que quanto mais o dano está relacionado a preços que não são dados nos mercados, a eventos *socialmente condicionados*, a fenômenos extremos do clima ou eventos de clima grandiosos, mais incerto é o processo de estimação dos equivalentes de consumo (*valuation* do dano). Isso se deve ao fato de que tais eventos e suas conseqüências, não são previsíveis, são estimados com elevado nível de discordância²² ou não são ainda cientificamente comprovados. Neste último caso se enquadram os fenômenos ou eventos grandiosos.

2.1 Análises de custo-benefício

É preciso deixar claro que o presente trabalho não pretende adentrar na discussão das análises de custo-benefício. Análises de custo-benefício se destinam a comparar os benefícios e os custos para a implantação de um determinado projeto social ou privado. Casos os benefícios superem os prejuízos ou investimentos, o projeto é considerado factível e aceitável, do ponto de vista social.

No contexto do aquecimento global, as análises de custo-benefício são amplamente utilizadas, nos países desenvolvidos, para determinar se determinado projeto deve ou não ser levado a cabo ou aceito pelos entes públicos. Eles são utilizados como ferramenta de análise para a tomada de decisão. No caso de projetos ligados à mudança do clima, se comparam os danos evitados (benefícios) com o custo de implantação do projeto. Um projeto que emita menos gases de efeito estufa causará menos danos ao ambiente e, por conseqüência, se traduzirá em benefícios para a sociedade e para as gerações futuras. Esses benefícios são comparados com o custo do projeto – investimento para a sua implantação. Caso os benefícios (danos evitados) sejam maiores que os investimentos (custos), dizemos que o projeto passa na análise custo-benefício e é um candidato a implantação.

²² Por exemplo, qual é o valor estimado para a perda de uma vida humana? Qual é o custo social gerado pela inundação dos fenômenos extremos do clima?

O propósito desse trabalho é estudar os danos econômicos provocados pelo aquecimento global de maneira ampla e não de um dado projeto específico. O objetivo desse trabalho e desse capítulo não é calcular, nem estudar, os investimentos necessários para evitar o dano ambiental.

Atualmente vários modelos econômicos incluem módulos de estimação dos equivalentes de consumo do dano e também o módulo de estimação dos investimentos necessários para mitigá-lo, perfazendo assim, um modelo adequado para a análise de custo-benefício. Modelos que apenas calculam o dano são, então, capazes apenas de estimar os benefícios de evitar as emissões.

É importante ressaltar que o Brasil não tem utilizado, de maneira institucionalizada²³, para a tomada de decisões políticas, a ferramenta da análise de custo-benefício para a aceitação/recusa de projetos. Nos países europeus a utilização desse tipo de ferramenta é amplamente empregada pelos governos, que emitem e publicam regras ou guias para a análise de projetos ambientais ou que tenham impactos sociais sobre as populações. Há inclusive regras quanto às taxas de desconto que devem ser utilizadas (assunto que abordaremos no capítulo 4 desse trabalho). Também definem qual é o valor que deve ser considerado para a emissão de uma tonelada adicional de carbono na atmosfera (o chamado custo social do carbono), quando do cálculo da análise custo-benefício. O governo Britânico, por exemplo, possui o chamado *The Green Book*²⁴, que define as práticas aceitas, quando na formalização de um estudo de custo-benefício.

2.2 Danos totais e danos devido à duplicação na concentração do CO₂

Nas seções seguintes apresentaremos a forma de cálculo dos danos do aquecimento global. O cálculo segue o formato dos primeiros modelos de estimação de dano, que

²³ Não que não haja práticas de análise custo-benefício. Há exemplos aplicados na área ambiental, entretanto, o que se quer deixar claro é que não há uma discussão do uso das análises de custo-benefício como uma política institucionalizada, onde cada ente público ou privado saiba e deva seguir esse conjunto de regras para submeter projetos para aprovação dos Governos. Algo como acontece na Inglaterra, onde existe um livro de recomendações que serve de guia àqueles que submetem aos Governos, projetos que tenham impactos sociais consideráveis.

²⁴ Para maiores detalhes ver Great Britain H.M. Treasury (2007).

calculavam não o dano total, ocasionado pelo estoque acumulado de gases na atmosfera, mas ao invés disso, do fluxo, que ocorre no ponto em que a concentração atinge duas vezes a concentração de dióxido de carbono na atmosfera ($2xCO_2$), com relação ao período pré-industrial.

Isso significa que o dano é calculado num dado ponto do futuro, que corresponde ao momento em que a concentração de gases na atmosfera atinge duas vezes as concentrações do período pré-industrial, ou seja, duas vezes 285 ppm, que corresponde a 570 ppm de moléculas do CO_2 .

O problema dessa abordagem é que danos ocorrerão antes e depois do cenário de referência de $2xCO_2$ – que alguns autores dizem que pode ocorrer por volta do ano 2050. Logo, esse método não inclui a totalidade dos danos, já que apenas o dano para um ponto específico do tempo é estimado, na forma de equivalentes de consumo.

Tol (2002b, p.135) diz que esse tipo de metodologia, que calcula o dano para um determinado ponto no futuro, baseia-se na chamada abordagem estática. O autor propõe outra metodologia, chamada por ele de abordagem dinâmica. Nesta, os danos são calculados para qualquer ponto do tempo, indo muito além do ano 2050. No trabalho de Tol (2002b) os cálculos são realizados até o ano 2200. Tais emissões geram matrizes de danos que se prolongam até o ano 2200 e não param no momento em que o fluxo de emissões atinge $2xCO_2$. O modelo também leva em consideração o crescimento da população, da economia e a evolução tecnológica. As concentrações atmosféricas do CO_2 variam de acordo com o modelo de emissões ou o perfil de emissões, conforme mencionamos na seção 1.11, do capítulo anterior.

2.3 Categorias de danos

Como ponderam Clarksson e Deyes (2002, p.14), o levantamento dos equivalentes de consumo, dos impactos daquilo que tem preços de mercado é relativamente simples, pelo menos no curto prazo. Preços podem ser tomados nos mercados futuros e multiplicados pela eventual perda de produção devido ao aquecimento global. Entretanto, os equivalentes de consumo, de impactos *não-mercado*, são mais difíceis de serem estimados. Para tal é

necessário o uso de técnicas que criem mercados hipotéticos, em que as pessoas são perguntadas quanto estariam dispostas a pagar ou a receber pela perda ou ganho de uma unidade adicional daquele item *não-mercado*²⁵.

O problema é que os valores a serem pagos/recebidos dependerão de julgamentos éticos e de valor, que podem variar de pessoa a pessoa, região a região, etc. Também é o caso dos impactos *socialmente condicionados*, já que estar-se-à tentando calcular os equivalentes de consumo de danos devido à fome, migração e conflitos regionais. Estes impactos não têm preços dados pelos mercados.

O problema do cálculo dos equivalentes de consumo é que as categorias de danos²⁶ não capturam a totalidade dos danos. Isso leva a subestimação do dano total, causado pelo aquecimento global. Isso pode ser verificado, tomando como base a análise detalhada de Watkiss et al. (2006, p.13-14). Nela os autores fazem uma avaliação geral da literatura e dos modelos utilizados, até então, para estimativa dos danos. Eles mostram que a grande maioria dos estudos não inclui a totalidade dos danos, especialmente os provenientes dos impactos *não-mercado*²⁷. Também não incluem os *danos socialmente condicionados*, os eventos extremos de clima e os chamados eventos grandiosos (ou potencialmente catastróficos). Uma representação dessa avaliação é vista na figura 8, da seção 2.4. Nas seções seguintes faremos uma descrição das categorias de danos.

2.3.1 Categoria de dano devido à elevação do nível do mar

O aumento do nível do mar impõe custos para a proteção de regiões secas e úmidas, especialmente as regiões baixas, tais como ilhas e cidades praianas. Danos emergem da

²⁵ Quanto um dado indivíduo estaria disposto a pagar para manter a vida do urso polar? Perguntas desse tipo apontarão diferentes valores de equivalentes de consumo pelas quais as pessoas estarão dispostas a pagar. Dependerá de julgamentos de valor, visões de mundo, etc, o que torna sua estimação plena de incertezas e contestações.

²⁶ Categoria de dano é um conjunto de danos causados pelo aquecimento global, agrupado por similaridade. Alguns autores como Fankhauser (1993) adota as seguintes categorias: propriedade, biodiversidade, setor primário, bem-estar humano, risco de desastres e outros. Watkiss et al. (2006) trabalham com os seguintes tipos de dano: elevação do nível do mar, uso de energia, agricultura, fornecimento de água, saúde, biodiversidade, eventos extremos do clima e eventos grandiosos ou potencialmente catastróficos. Nosso trabalho seguirá as categorias de danos descritas em Watkiss et al. (2006).

²⁷ Para uma descrição bem ampla dos danos *não-mercado* ver Howarth e Monahan (1992, p.20-21).

hipótese de que a elevação do nível do mar inundará áreas, provocando perdas de propriedade e de biodiversidade.

A estimação desse tipo de dano é dada pela multiplicação da área perdida, seca ou úmida, pelo valor do metro quadrado de área. Esse é um cálculo simples e direto, já que há preços dados pelos mercados.

O problema é que a maioria dos estudos deixa de calcular os equivalentes de consumo de danos *não-mercado* e dos *danos socialmente condicionados*. Por exemplo: a elevação do nível do mar intensificará a perda de áreas úmidas e matará algumas espécies que vivem em mangues (danos *não-mercado*). Também aumentará a chance de a água salina invadir as fontes e ecossistemas de água doce (*danos socialmente condicionados*), causando prejuízo às populações (WATKISS et al., 2006, p.13). Esses tipos de danos não são contabilizados na maioria das estimativas de danos do aquecimento global.

Além disso, a invasão do mar sobre terras habitáveis e secas deve provocar imigrações, deslocamentos e problemas de ordem política, social e econômica (*danos socialmente condicionados*), que também não são calculados na forma de equivalentes de consumo atualmente pelos modelos e estimativas. O resultado disso é que essa categoria de dano deve estar subestimada.

2.3.2 Categoria de dano devido aos impactos de uso de energia

A elevação da temperatura média global provocará estresses de calor em determinadas regiões, ao mesmo tempo em que trará temperaturas mais amenas para regiões extremamente frias. Essa combinação fará a demanda pelo uso de sistemas de ar-condicionado aumentar em determinadas regiões, especialmente no verão. No inverno, regiões com temperaturas historicamente mais baixas poderão ter as temperaturas amenizadas, devido ao aquecimento global. Com isso o uso de energia para calefação pode ser reduzida. A maioria das estimativas de danos e modelos, captura esse efeito de ganhos para uns e perdas para outros, no consumo de energia, trazido pelo aquecimento global (WATKISS et al. , 2006, p.13).

Entretanto, prever modelos que calculem com exatidão o nível de consumo de energia, em cada uma das regiões, perdedoras e beneficiárias da elevação da temperatura, é uma tarefa extremamente difícil e aportam sérias incertezas e hipóteses simplificadoras para o cálculo.

2.3.3 Categoria de dano devido aos impactos na agricultura

Os impactos nesse importante segmento da economia dependerão da extensão das mudanças do clima e da evolução das pesquisas no segmento do agrícola, dentre eles a capacidade de adaptação das espécies às variações do clima. O uso de variantes mais resistentes pode reduzir o impacto do aquecimento global sobre a agricultura. Outro fator de redução é a disponibilidade de tecnologias que favoreçam o desenvolvimento mais rápido das plantas, tais como a fertilização por meio de elevadas doses de dióxido de carbono²⁸ e a irrigação.

Uma vez que o dano é irreversível e que não há como evitá-lo, uma forma comum de fazer a estimativa econômica do dano, na forma de equivalentes de consumo, é se levantar a extensão da perda, em unidades de área ou em toneladas, e multiplicá-la pelos preços de mercado da espécie.

Fankhauser (1993, p.10) diz que o impacto do aquecimento global sobre o setor agrícola é a categoria de dano mais estudada na literatura, com avaliações mais amplas e numerosas. Entretanto, o autor relata que a maioria dos estudos se concentra apenas em aspectos de produtividade e de produção, não levando em consideração a questão da mudança de preços, devido a variações nas demandas de mercado e nos níveis de produção.

Watkiss (2006, p.13) é categórico em afirmar que a maioria dos estudos captura somente os impactos diretos de produção. Isso acaba por não determinar os danos na sua totalidade, ficando de fora danos devido a variações nos preços de mercado, que leva à subestimação ou limitação no cálculo global dessa categoria de dano.

²⁸ Tal técnica permite aumentar a produtividade e o desenvolvimento mais rápido da planta, evitando que ela fique mais tempo exposta às variações do clima e aos fenômenos extremos. Para detalhes sobre a técnica da fertilização com CO₂, ver Cline (1992, p.89-92)

2.3.4 Categoria de dano devido ao impacto no fornecimento de água

O fornecimento de água será impactado pelas mudanças na precipitação, na evapotranspiração e pelas mudanças de demanda. Esses fatores serão afetados pela mudança do clima, já que o aumento da temperatura média global alterará a intensidade e velocidade de ocorrência dos mesmos. Segundo Watkiss et al. (2006, p.13), a mudança no clima exacerbará a escassez de água em muitas regiões do mundo, com um potencial de escassez e *danos socialmente condicionados* elevados, que não são amplamente quantificados atualmente. Ainda segundo os autores, alguns modelos capturam esse tipo de dano, embora o façam de maneira parcial, prejudicando assim, a estimativa global da categoria de dano referente ao fornecimento de água.

Ainda sobre esse tema Fankhauser (1993, p.13) diz que o dano causado pela invasão da água salgado do mar, sobre as regiões costeiras, é amplamente desconhecido e, portanto, não deve estar sendo incluído nas estimativas de dano.

2.3.5 Categoria de dano devido ao impacto sobre a saúde

Os impactos sobre a saúde dizem respeito ao estresse de calor e frio, provocado pelo aquecimento global, que recai sobre as populações, provocando aumento da mortalidade. Fankhauser (1993, p.16), aponta que tais mortes decorrem do aumento de doenças relacionadas ao clima, tais como as doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias. Os mais velhos, os muito jovens e os doentes sofrem de maneira desproporcional com tais doenças (TOL, 2002a, p.59), sendo o grupo mais suscetível.

Segundo Watkiss et al. (2006, p.13), o número de mortes devido à maior intensidade de frio e calor deve ser pequeno. O número de mortes devido à maior incidência de doenças transmitidas por vetores, tais como a malária, se expandirá e terá impacto bem elevado. Os autores dizem que muitos estudos já calculam, dentro da categoria de dano da saúde, esses impactos.

O problema segundo Watkiss et al. (2006, p.13) é que os *danos socialmente condicionados*, ligados à saúde, tais como à escassez de alimentos, de água e os

deslocamentos devido à elevação do nível do mar, além de serem difíceis de serem estimados, ocorrem com frequência e não são incluídos em quaisquer modelos de estimação de danos atuais. Os danos existem, aumentam a ameaça à saúde humana, especialmente das populações de baixa renda e as localizadas em regiões tropicais e subtropicais, mas os modelos atuais não estimam seu impacto. Isso significa que essa categoria de dano também não está sendo calculada de maneira global.

Um exemplo desse cálculo parcial é dado por Tol (2002a, p.59). O autor menciona que além da mortalidade pelos estresses de frio e calor, pelas doenças transmitidas por vetores e pelos *impactos socialmente condicionados*, dois fatores adicionais recaem sobre a saúde das populações: a qualidade do ar e as mortes e ferimentos devido à maior incidência de inundações e tempestades. O autor alerta que no seu cálculo de dano, apenas os estresses de frio e calor e as doenças transmitidas por vetores são quantificados na forma de equivalentes de consumo. Os demais fatores são omitidos e não são estimados, o que reforça a idéia de que nem todos os danos e impactos, em equivalentes de consumo, estão sendo atualmente calculados pelos modelos e estimativas para a categoria de dano da saúde.

2.3.6 Categoria de dano devido ao impacto nos ecossistemas e biodiversidade

Watkiss et al. (2006, p.14) defendem que os danos provenientes da perda de ecossistemas e de biodiversidade são os mais difíceis e complexos de serem calculados na forma de equivalentes de consumo. Tol (2002a, p.53-54) diz que os economistas têm dado pouca atenção ao tema devido ao fato de que os impactos naturais do aquecimento global, nesta categoria de dano, ainda são amplamente desconhecidos e que o processo de atribuição de valores a espécies e ecossistemas é de difícil estimação.

O problema que se apresenta, quando da estimação da perda de espécies e biodiversidade, é que a maioria dos estudos se apóia na idéia de que é necessário estabelecer um preço para o ecossistema ou espécie perdida. Esse preço é motivo de discórdia entre os estudiosos e não há valores amplamente aceitos. Os valores se baseiam em escolhas ou cálculos *ad hoc*, passíveis de contestações e julgamentos de valor. Fankhauser (1993, p.9) desenvolve o assunto: lembra que a primeira dificuldade reside no fato de estabelecer o que é na realidade uma espécie em extinção. Para definir o numerário ou equivalente de consumo

que será atribuído à espécie é utilizado o *método da avaliação contingente (contingent valuation)* (ARROW et al., 1993), que estabelece valores de uso, opção e existência às espécies. Dessa avaliação se determina quanto as pessoas desejariam pagar pela preservação, uso ou existência dos animais e espécies em risco.

Esse tipo de cálculo não é isento de críticas. É possível estimar o dano em equivalentes de consumo, multiplicando o valor do desejo de pagar, previamente estabelecido, pela população do país e pelo número de espécies efetivamente em risco de extinção²⁹. Entretanto, o valor a pagar é passível de julgamentos morais e uma pessoa pode desejar pagar mais ou menos pela preservação ou uso de espécies e biodiversidades.

Nesta categoria de dano reside vários fatores de incerteza, que podem reduzir ou aumentar o dano total. Fankhauser (1993, p.9), em sua estimativa de dano para a categoria de perda de espécies e biodiversidade, adota certas medidas simplificadoras: baseado em estudos realizados nos Estados Unidos, ele estabelece para o seu cálculo, que o desejo de pagar vale dez dólares por habitante para países de alta renda. Depois estabelece três dólares para países de renda média e um dólar para países de baixa renda, ou seja, a partir de um único estudo feito nos Estados Unidos ele estabelece valores arbitrários de desejo de pagar, que podem não ser a realidade para outros países e regiões.

Fankhauser, Tol e Pierce (1996, p.249) mencionam que o desejo de pagar ou aceitar o dano, observado em diferentes países (ou entre indivíduos) varia de acordo com as características sócio-econômicas, em especial a renda³⁰. Dessa forma, a adoção de um valor de desejo de pagar uniforme, para um bloco de países, de alta, média e baixa renda, não é a melhor prática e incorrerá em simplificações que podem reduzir ou aumentar o equivalente de consumo.

O método da simplificação, adotado por Fankhauser (1993), é bom, pois facilita a estimação e dá uma resposta rápida quando do levantamento do dano. Serve como um atalho quando o grau de desenvolvimento das pesquisas e modelos ainda não avançou o suficiente para permitir um cálculo mais preciso. Entretanto, é de se esperar que as simplificações

²⁹ Exemplos numéricos, baseados em Fankhauser (1996, p.10), serão mostrados na seção 2.6.6.

³⁰ É importante ressaltar, entretanto, que a idéia central no trabalho desses autores não é discussão de qual deve ser o correto valor do desejo de pagar. O trabalho tem o propósito de analisar os problemas de agregação dos danos, por meio de funções de bem-estar social, tema que abordaremos no capítulo 3 desse trabalho.

possam ocultar danos econômicos maiores. Não à toa que Watkiss et al. (2006, p.14) reforçam que na categoria de dano perda de ecossistemas e biodiversidade, a maioria dos estudos não captura a totalidade dos efeitos, já que o cálculo se apóia em estimativas e hipóteses *ad hoc*.

2.3.7 Categoria de dano devido aos eventos extremos do clima

Tol (2002a, p.20-21) menciona que o aumento da concentração de gases de efeito estufa, lançados na atmosfera, aumentará a probabilidade de inundações, estiagens e ondas de calor. Tais eventos se tornarão mais frequentes e devem resultar em custos consideráveis, na forma de mortes e destruição. Ciclones se formam quando a temperatura dos oceanos ultrapassa os 26°C (CLINE, 1992, p.122). O aquecimento global deve induzir um aumento na frequência de tais eventos climáticos, já que se espera um aumento da temperatura média global, atmosférica e sobre os oceanos.

Estimativas mencionadas em Tol (2002a, p.21) dão conta de que a duplicação da concentração dos níveis de CO₂ pode implicar em aumento de 40% a 50% do poder destrutivo das tempestades tropicais. Watkiss et al. (2006, p.14) alertam que a frequência e severidade de tais fenômenos extremos não guardarão linearidade com a mudança do clima. Isso significa que, dado uma alteração no clima, não se espera apenas um pequeno aumento na intensidade do fenômeno. Eles terão maior intensidade e potência que a mudança marginal na temperatura média global.

Essa categoria de dano também não está excluída na maioria dos estudos analisados por Watkiss et al. (2006, p.14), o que significa que os grandes danos potenciais dos fenômenos extremos não aparecem na maioria dos cálculos de danos do aquecimento global.

2.3.8 Categoria de dano de eventos grandiosos ou potencialmente catastróficos

Tal categoria de dano inclui fenômenos altamente incertos e que necessitam ainda estudos e pesquisas adicionais para uma maior compreensão e modelagem. Eles têm relação com a magnitude da resposta que o sistema climático terá mediante a contínua e permanente elevação da temperatura média da Terra, no longo prazo.

Watkiss et al. (2006, p.14) dão exemplos de tais eventos: o degelo da Antártida Ocidental, a perda da calota gelada da Groenlândia, a liberação de metano de depósitos gelados, a instabilidade ou colapso da Floresta Amazônica, mudanças nas correntes de circulação do Golfo e dos oceanos, alterações no sistema de monções, entre outros. A alteração no comportamento natural desses sistemas poderia trazer conseqüências inesperadas e ainda difíceis de serem previstas e mensuradas.

Schneider (1989, p.162-163) menciona que se todo o gelo da Antártida derretesse, o oceano sofreria uma elevação de setenta metros. Se somente a Antártida Ocidental derretesse, o impacto seria o de uma elevação no nível do oceano por volta de cinco a oito metros. Entretanto, em sua descrição desses fenômenos, Schneider menciona que tanto para a Antártida Ocidental, quanto para a Oriental, o impacto no nível do mar levaria muitas centenas de anos para ocorrer.

Sobre esses fenômenos e as constatações de Schneider (1989), é importante ressaltar que as previsões do IPCC (2007a) falam de meio metro a um metro na elevação do nível do mar, com conseqüências não desprezíveis. O que dizer das conseqüências de cinco, oito ou setenta metros de elevação, caso os fenômenos grandiosos ocorram? O fato é que hoje os modelos e estimativas de cálculo, devido aos impactos do clima, não capturam a possível ocorrência desses fenômenos ultra-extremos.

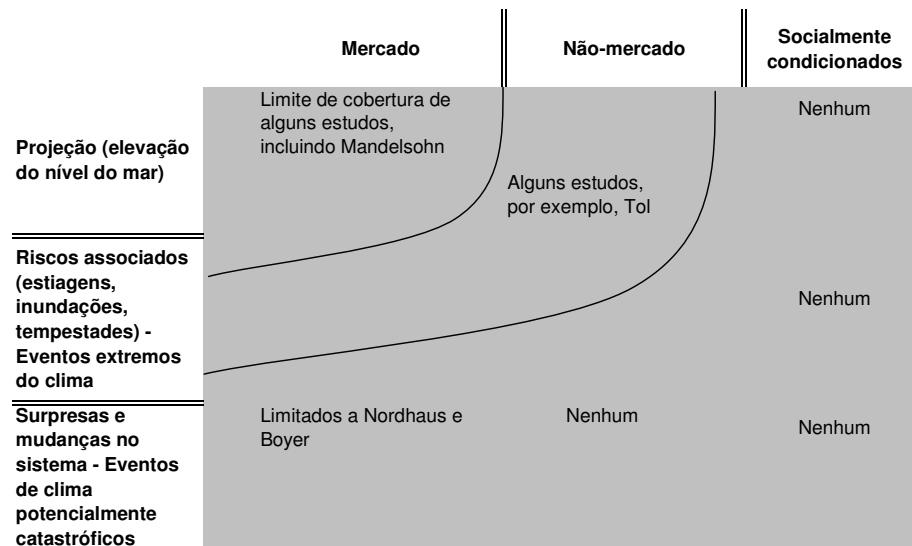
2.4 Um balanço sobre as categorias de danos

Até aqui fizemos um levantamento das principais categorias de danos, que entram nos cálculos para se obter o dano na forma de equivalentes de consumo. É necessário lembrar que as categorias de danos, relatadas nas seções anteriores, somadas, resultarão no dano total provocado pelo aquecimento global. A ausência de qualquer uma das categorias ou de alguma subcategoria implicará em subestimação, já que não comportará a totalidade dos efeitos do aquecimento global.

Nesse ponto é importante novamente recorrer ao trabalho de Watkiss et al. (2006, p.17). A figura 8 é uma reprodução daquela encontrada no trabalho original desses autores.

Ela mostra a avaliação que os autores fizeram de vários modelos de cálculo, utilizados para estimar o dano na forma de equivalentes de consumo.

Figura 8 - Matriz de riscos e incertezas e as limitações dos estudos que estimam o dano



Fonte: Watkiss et al. (2006, p.19)

Notas: Adaptado e traduzido livremente pelo autor.

A figura 8 mostra que a maioria dos estudos captura os danos e projetam danos de mercado relacionados à elevação do nível do mar. Entretanto, apenas alguns estudos, como os de Richard Tol, incluem danos de mercado, *não-mercado* e fenômenos extremos do clima. No caso de eventos potencialmente catastróficos e *impactos socialmente condicionados*, a quase totalidade dos estudos não inclui essas categorias nos cálculos – exceções feitas a Nordhaus e Boyer, que incluem danos potencialmente catastróficos, mas deixam de fora *danos não-mercado* e *impactos socialmente condicionados*.

Isso significa que nenhuma estimativa ou modelo, das avaliadas por Watkiss et al. (2006, p.17), inclui danos do aquecimento global de *danos socialmente condicionados* e *eventos potencialmente catastróficos*. É de se esperar, portanto, que tais estimativas não capturem todas as externalidades da mudança do clima e, dessa maneira, estejam subavaliando o dano total do aquecimento global. Os cálculos não cobrem todos os impactos que a mudança do clima pode causar.

2.5 Cenários e modelos de emissões

Nas seções anteriores indicamos as categorias de danos e apontamos em quais delas há ausências que põe em dúvida o cálculo global do dano, na forma de equivalentes de consumo. Essas ausências decorrem de incertezas científicas, incertezas econômicas e falta de um maior número de estudos, que correlacionem fenômenos naturais com estimativas econômicas. Nas seções anteriores buscou-se, então, reforçar que existem várias categorias de danos e que falta aos modelos abrangência suficiente, de forma que se possa capturar todos os danos e externalidades que emergem do fenômeno do aquecimento global.

É preciso dizer que essas ausências ou limitações dos modelos, que podem levar à subavaliação do dano econômico do aquecimento global, não são causadas pela falta de imaginação dos economistas ou cientistas. O fenômeno do aquecimento global depende de uma série de variáveis, interações e fenômenos que ocorrem no sistema climático. Os cálculos de danos também dependem de uma série de fatores sócio-econômicos (como, por exemplo, prever taxas de crescimento da economia e da população) e de fatores de modelagem, presentes no interior dos modelos, tais como os valores atribuídos aos danos *não-mercado*, por exemplo. Daí surge incertezas e imprecisões, que tornam o dano difícil de ser realizado e capturado, de maneira que possam ser incluídos nas estimativas de danos.

Espera-se que com o avanço das pesquisas, as incertezas possam ser reduzidas e modelos mais complexos possam ser utilizados, de maneira que capturem um número maior de externalidades e danos, diminuindo assim as omissões atuais.

Nas seções anteriores se fez uma descrição das categorias de dano. Nas seções seguintes buscaremos detalhar como o dano é efetivamente calculado. Antes de passarmos as formas de cálculo, é importante falar um pouco sobre cenários de emissões. Para a realização do cálculo dos danos, os pesquisadores necessitam criar cenários que simulem a evolução das emissões, projetando como elas serão no futuro. Para fazer isso, é preciso definir alguns parâmetros: i) um ano de referência inicial; ii) um perfil de emissões (ou modelo de emissões) e iii) um ano de referência final.

O modelo de emissões serve para medir o diferencial de gases emitidos entre o ano inicial e o ano final. Esse diferencial, projetado no futuro, permitirá o cálculo da concentração

de gases acumulado na atmosfera. Daí é possível derivar a elevação de temperatura que o planeta sofrerá. Essa elevação na temperatura causará os diversos efeitos e danos naturais. A partir daí se derivam os danos em equivalentes de consumo.

Os modelos de emissões congregam muito mais que os três itens mencionados nos parágrafos anteriores. Uma série de outras hipóteses, ligadas ao modo de desenvolvimento que se espera para o período futuro tem que ser definida, em termos de necessidades de uso de energia, crescimento da população, evolução do consumo, entre outras variáveis.

Esses modelos têm evoluído e recebido o nome de Modelos de Avaliação Integrados (MAI). Os mais conhecidos deles são o modelo FUND (2007; 2008a; 2008b), desenvolvido por Richard Tol, o modelo DICE (2007), desenvolvido por William Nordhaus e o modelo PAGE, desenvolvido por Chris Hope (2006). Tais modelos são programas de computador, multidisciplinares, capazes de comportar variáveis científicas da mudança do clima e variáveis sócio-econômicas, com a capacidade de calcular os danos na forma equivalentes de consumo a partir de um perfil de emissões e das variáveis sócio-econômicas pré-estabelecidas. Muitos dizem que o MAI é um modelo de crescimento econômico, que calcula o dano do aquecimento global. Uma descrição do modelo FUND é encontrada em GUO et al. (2006, p.6):

O modelo *Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution* (FUND) é um Modelo de Avaliação Integrado de emissões de gases de efeito estufa, entre outras coisas (...). A versão empregada nessa pesquisa, FUND 2.8, divide o mundo em 16 regiões geográficas e é executado a partir do ano 1950 até 2300, em intervalos de um ano. O modelo se estende até 1950, de forma que ele possa ser iniciado com dados do passado. Dessa forma, o período de 1950 a 1990 é baseado em observações históricas, enquanto que de 1990 a 2100 ele é baseado em cenários padrões, que se apóia nos cenários IS92a e IS92f (TOL, 2005, apud GUO et al., 2006, p.210). Cenários exógenos incluem crescimento econômico, previsão de crescimento da população e perfis de emissão de CO₂ que são previstos para cada região, em cada período. Impactos depois de 2100 são extrapolados de tendências observadas entre 2050-2100, incorporando um deslocamento gradual e um estado de equilíbrio do crescimento econômico e da população. Tais extrapolações estão tão distantes no futuro, que esses cenários inevitavelmente serão incorretos (...) (GUO et al., 2006, p.210, tradução nossa).

Esse breve esclarecimento sobre os cenários de emissões e sobre os modelos se fez necessário para podermos formar uma idéia inicial de como os cálculos são realizados por meio dos modelos; um perfil de emissões, que agrega dados de crescimento econômico e

crescimento populacional e que gera impactos ao meio ambiente, mediante a maior ou menor intensidade das emissões. Tais impactos são traduzidos em danos econômicos.

2.6 Método do cálculo das categorias de danos

Antes de avançar na descrição dos critérios e métodos de cálculo, é importante dizer que o que se pretende com essa seção não é esgotar todas as possibilidades de como o cálculo é realizado. O objetivo será dar uma noção de como ele pode ser executado, mostrando a experiência de alguns autores com o tema.

Essa ressalva é importante, pois como já mencionado na seção anterior, os principais cálculos de danos, hoje, são realizados por meio de programas de computador. Há uma quantidade enorme de informações e dados econômicos, científicos e sociais que precisam ser inter-relacionados para se chegar aos danos em equivalentes de consumo, devido à mudança do clima. Isso significa que, apesar de se mostrar como alguns desses danos são calculados, raro será encontrar algum economista que os realize da forma que mostrar-se-à aqui; individualizada, com um impacto e o procedimento de cálculo mostrado um de cada vez. Os MAI, muito provavelmente, serão utilizados para esse propósito, sendo que os modelos farão os cálculos de maneira agregada e simultânea (todos os danos calculados e somados). Optou-se por essa abordagem para criar um senso didático aos cálculos, de forma a evidenciar, como geralmente eles se apresentam no interior dos modelos computacionais.

Com o objetivo de conhecer os métodos e formas de estimação, esse trabalho se apoiará fortemente em Fankhauser (1993). O autor se adianta em estabelecer os propósitos e limitações de seu trabalho original:

(..) Estimar o dano potencial do aquecimento global é uma tarefa desencorajadora. A extensão da incerteza é vasta em quase todos os aspectos. Num nível puramente climatológico existe amplo consenso sobre as mudanças esperadas na temperatura média global. A confiança, entretanto, ainda é baixa na previsão de variações regionais e nas estações do ano. Dificuldades também existem em se prever mudanças nas temperaturas, dependentes de variáveis tais como: precipitação, evaporação, frequência de tempestades, elevação no nível do mar, etc. (..) mesmo que o nível de mudança fosse conhecido com exatidão, o efeito que ele teria, digamos sobre o conforto humano, saúde ou na produção agrícola está longe de ser plenamente entendido. Além disso, além dos longos intervalos de tempo, entre as

emissões de gases de efeito estufa e a mudança no clima, é extremamente difícil prever as estruturas e as preferências da sociedade futura, que acabarão sendo afetadas pelo aquecimento global, um fato que torna a estimação monetária dessas mudanças ainda mais difícil. Nessas circunstâncias, qualquer tentativa no sentido de se obter uma estimativa monetária de danos, se revela nada mais do que um levantamento da ordem de grandeza. Além disso, para alcançar tal objetivo, várias hipóteses simplificadoras tiveram que ser introduzidas. Mais importante: nós não tínhamos o objetivo de estimar a função de dano na sua totalidade, mas somente analisar um ponto particular, o dano que ocorre com a duplicação da concentração atmosférica do dióxido de carbono em relação ao nível pré-industrial ($2xCO_2$). (..) o IPCC (1990a) prevê que $2xCO_2$ levará a um (equilíbrio) aumento da temperatura média global de $1.5^{\circ}C$ a $4^{\circ}C$ com a melhor estimativa sendo igual a $2.5^{\circ}C$ (..) isso induziria um aumento no nível do mar de aproximadamente 50 cm no ano 2100 (..) Com o objetivo de evitar projeções de crescimento e desenvolvimento futuro, nós escolhemos o ano de 1988 como o ano de base. Nós estimamos o dano que $2xCO_2$ causaria para o mundo com uma estrutura econômica igual à de 1988. (FANKHAUSER, 1993, p.5, tradução nossa).

Além de Fankhauser (1993), outros autores também serão mencionados ao longo das seguintes subseções, especialmente Tol (2002a) e Cline (1992). É importante reforçar o que diz Fankhauser no trecho acima: a estimação de danos emprega simplificações, dado que há grandes incertezas, que tornam o cálculo, muitas vezes, apenas uma busca pela ordem de grandeza do dano. Além disso, ele reforça que o trabalho dele não estima o dano total, mas o dano que ocorre num dado ponto do tempo (quando a duplicação das concentrações de CO_2 na atmosfera ocorre).

As considerações de Fankhauser se assemelham ao que dissemos nas seções anteriores: que a pesquisa sobre os cálculos de dano, necessita avançar mais, com o objetivo de capturar um número maior de externalidades, bem como reforça a idéia de que os modelos têm omissões, não pelo descuido dos pesquisadores, mas devido às incertezas científicas e sócio-econômicas.

2.6.1 Cálculo de danos devido à elevação do nível do mar

Segundo Tol (2002a, p.55) os danos devido à elevação do nível do mar se subdividem em três: danos ao capital ou construções, danos devido à inundação de terras secas e danos devido à inundação de terras úmidas.

Para a análise de danos às propriedades, algumas hipóteses simplificadoras já são adotadas, logo de início no trabalho de Fankhauser (1993, p.6). Ele explica que a elevação do nível do mar inundará vastas áreas. Algumas delas, pouco habitadas, serão simplesmente abandonadas e padecerão. Áreas mais densamente populadas serão protegidas, por meio de alças, paredes, diques, elevação, etc. A hipótese adotada pelo autor é: ao invés de calcular a perda de capital devido às inundações, ele considera os danos como sendo os custos de proteção. Isso é feito baseado em dados do IPCC e num estudo realizado pela empresa *Delft Hydraulics*.

Tol (2002a, p.57), em trabalho mais recente que o de Fankhauser (1993) também utiliza esse trabalho da *Delft Hydraulics*, numa versão mais atualizada, para estimar os custos de proteção. Ele recomenda, entretanto, sempre que possível, que se utilizem dados e resultados num nível mais individual; um país ou região menor, por exemplo. Isso é preferível a estimativas que partam de algum cálculo global (TOL, 2002a, p.58-59), em que se tenha agregado vários países e regiões, com características diferentes, de onde se retirem a média de danos.

Para o caso de perda de terras secas, o método empregado por Fankhauser (1993, p.8) foi o de estimar a extensão das áreas ameaçadas de inundação e multiplicar pelo preço das terras. Grandes incertezas emergem desses cálculos, pois a maioria das estimativas se baseia não no cálculo individual, por países ou cidades, mas pela junção de várias regiões e países agregados, formando uma macro-região³¹. A área dessa macro-região ameaçada é multiplicada, então, por um valor médio ou melhor estimativa do preço da terra. Fankhauser (1993, p.8), por exemplo, diz que o cálculo de equivalentes de consumo é difícil, pois depende do uso e localização das áreas. Para o estudo ele adotou uma média de 2 milhões de dólares/Km² para os países da OECD, 0.5 milhão de dólares/Km² para a antiga ex-União Soviética e 1 milhão de dólares/Km² para os demais países. Método similar é adotado por Tol (2002a, p.57-58), entretanto, os preços por quilômetro quadrado foram diferentes em Tol.

³¹ No caso de Fankhauser (1993) as macro-regiões foram agregadas da seguinte forma: Comunidade Européia, Estados Unidos, países da antiga União Soviética, China, nações integrantes da Organização para o Desenvolvimento e a Cooperação Econômica, representada por sua sigla em inglês OECD (incluindo Estados Unidos e Comunidade Européia) e o resto do mundo. Tol em seu modelo FUND, versão 2.8, divide o mundo em 16 regiões: Estados Unidos, Canadá, Europa Ocidental, Japão e Coreia do Sul, Austrália e Nova Zelândia, Leste Europeu, Antiga União Soviética, Oriente Médio, América Central, América do Sul, Sul da Ásia, Sudeste da Ásia, China (incluindo Taiwan, Coreia do Norte, Mongólia e Macau), Norte da África, África Sub-Saariana e pequenas Ilhas (Aruba, Bahamas, Cuba, República Dominicana, Maldivas, etc). Para maiores detalhes ver FUND (2007, 2008b). Neste trabalho, seguiremos a divisão de macro-regiões de Fankhauser (1993).

No caso de perda de terras úmidas, o raciocínio seguido é o mesmo: estimação da extensão das áreas ameaçadas de inundação, multiplicada pelo preço das áreas. Fankhauser (1993, p.9) menciona vários outros autores que estimaram o preço de áreas úmidas, com valores que variam entre 1.5 e 13 milhões de dólares/Km². No trabalho dele, ele decidiu utilizar 5 milhões de dólares/Km² para os países da OECD. Para a ex-União Soviética e os países do resto do mundo ele optou pelo valor de 1.25 milhões de dólares/Km². Para a China, 0.5 milhão de dólares/Km².

É importante ressaltar a aleatoriedade dessas escolhas de valores. Questionável também é o uso de valores de equivalentes de consumo médios, para toda uma macro-região. Essa abordagem tem sido adotada pelos autores face à simplicidade e também devido à indisponibilidade de dados em nível mais regionalizado, por exemplo, para países ou para regiões menores, como Estados e municípios.

A elevação do nível do mar também provocará perdas para o setor pesqueiro. Parte das terras úmidas costeiras seria alagada, destruindo áreas que servem de habitat ou de local de alimentação para diversas espécies, destruindo a cadeia alimentar ali existente, e se alastrando por outras cadeias. Uma forma de estimação do dano seria calcular o impacto da alagação sobre a produção, pesca ou coleta de espécies. Esse percentual, então, seria multiplicado pelo produto total do setor, em toneladas, por exemplo. O resultado corresponderia à perda, em toneladas, devido ao aquecimento global. O valor do equivalente de consumo seria calculado multiplicando-se a perda em toneladas pelo preço médio da tonelada. Esse é o procedimento descrito em Fankhauser (1993, p.11-12). Tol (2002a, p.64) informa que não estimou essa subcategoria de dano. Isso provocaria uma subestimação para essa categoria de dano em Tol.

Interessante notar que tanto Tol (2002a), quanto Fankhauser (1993) incluem, de forma parcial, o cálculo de equivalentes de consumo de *impactos socialmente condicionados*, relacionados à imigração e migração de pessoas, quando da elevação do nível do mar. Fankhauser (1993, p.19-20) se baseia em trabalho de Cline (1992) e em dados do Anuário sobre Imigração das Nações Unidas. Com isso ele deriva o número adicional de imigrantes que surgiriam devido aos efeitos do clima. Esse número é, então, multiplicado pelo equivalente de consumo estimado dos custos da migração. Fankhauser adota arbitrariamente 4.500 dólares por migrante, baseado em valores dos Estados Unidos. Para países mais pobres

e o restante do mundo ele adota o valor arbitrário de 1.000 dólares por migrante. Adicionalmente Fankhauser, soma aos valores de deslocamento, o valor de 72 dólares por pessoa referente aos custos de assentamento. Este último valor foi baseado em informações das Nações Unidas. Por fim Fankhauser (1993, p.20) menciona que esses valores deveriam ser acrescidos do estresse sofrido pelos migrantes e que o cálculo não incluía a migração doméstica.

Tol (2002a, p.58) adota uma metodologia similar. Ele estima a quantidade de migrantes multiplicando a média da densidade populacional, pela área seca afetada. Para encontrar o custo total da migração interna, ele multiplica o resultado do cálculo anterior, pelo valor arbitrário de três vezes a renda *per capita*. Ele julga que 90% da população afetada pela elevação do nível do mar, migrará dentro de suas próprias regiões e, apenas 10% migrará para fora de suas regiões geográficas. Para esses 10%, espera-se que no país hospede, o deslocado terá renda menor que o da população local: 40% da renda *per capita*.

(..) as estimativas de *emigração* são baseadas na multiplicação da perda de terras secas, pela média da densidade da população. Os custos de *emigração* são estabelecidos arbitrariamente como sendo três vezes a renda per capita. (..) Pessoas da OECD, Europa Central e Ocidental e da antiga União Soviética devem permanecer em suas regiões. Noventa por cento das pessoas de outras regiões devem ficar onde estão. Os dez por cento restantes da África, América Latina se deslocam para países da OECD da América ou OECD da Europa, respectivamente. Migrantes do Oriente Médio se dividem igualmente entre países da OECD da América e OECD da Europa. Quatro por cento dos migrantes do Sul e Sudeste da Ásia e dos Países Centralmente Planejados se deslocarão para os países da OECD-América, três por cento para os países da OECD Europa e OECD Pacífico. Os custos da *imigração* são estabelecidos como sendo 40% da renda per capita dos países hóspedes (conforme Cline 1992 e Fankhauser 1995). O destino dos migrantes é arbitrário (Tol, 2002a, p.58, tradução nossa, grifo do autor).

Pode-se concluir que, apesar do método mais amplo e sofisticado de Tol (2002a), ambos os autores adotam o mesmo raciocínio de cálculo: estimação da quantidade de migrantes, multiplicado por um determinado valor de renda. Em ambos, há a adoção de valores e percentuais arbitrários, passíveis de contestação. O ideal seria uma agenda de pesquisa para discutir a unificação dos valores de renda, premissas de cálculo, uniformização das fontes de informação sobre migração, etc., ou pelo menos estabelecer um conjunto de alternativas possíveis.

2.6.2 Cálculo de danos no setor de energia

Alguns autores, ao invés de definirem o setor de energia como um daqueles que recebem o nome de categoria de dano, preferem considerá-lo como de relevância menor. É o caso de Fankhauser (1993, p.12). Para o autor o principal impacto do setor se transmitirá ao público, sendo, então, os danos do setor de energia de ordem secundária. Os danos na verdade recairão sobre o público, na forma de maior ou menor demanda por serviços ligados à energia; refrigeração ou calefação dos ambientes de trabalho, moradia e lazer. Em seu estudo, os danos do setor de energia são apresentados como os danos do setor de conformo humano (*Human Amenity*). O próprio autor esclarece: a forma de cálculo é a mesma feita por outros autores. A única diferença é de atribuição do nome: “o que é chamado de dano de conforto aqui é chamado de danos do setor de energia lá” (FANKHAUSER, 1993, p.15).

A abordagem utilizada por Fankhauser (1993, p.15-16) foi a de estimar o aumento da demanda de energia na condição de duplicação da concentração de gases dióxido de carbono na atmosfera, em relação aos níveis pré-industriais (2xCO₂). Para tal, ele projetou o aumento ou redução do consumo de energia, para cada macro-região. Depois disso, estabeleceu os preços de consumo da energia, baseados em dados da Agência Internacional de Energia, fez a multiplicação da elevação/diminuição da demanda pelos preços e chegou ao resultado de perda de conforto devido aos efeitos do aquecimento global. Os cálculos são mostrados na tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo dos danos do setor de energia ou de conforto humano

Macro-região	Demanda de eletricidade (1988, TWh)	Aumento na demanda para 2xCO ₂	Preço da eletricidade (1998, em mi\$/TWh)	Perda de conforto (mi\$)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)*(3)*(4)
Comunidade Européia	1.693,7	3,2%	129	6.992
Estados Unidos	2.874,8	3,2%	75	6.835
Ex- União Soviética	1.705,0	-1,0%	40	-682
China	545,2	3,2%	40	698
Países da OECD	6.601,1	3,2%	95	20.067
Mundo	11.061,4	-	n.a	23.065

Fonte: Fankhauser (1993, p.41)

Notas: Adaptado e traduzido livremente pelo autor, incluindo a terceira coluna, que Fankhauser (1993, p.15-16) apenas menciona no texto, mas não inclui na tabela original de seu trabalho. Para a linha que representa o mundo o autor não informou o aumento da demanda, nem como chegou à perda de amenidade total. Preços dados em dólares de 1988.

Para facilitar o entendimento, a tabela 4 foi construída com numerações nas colunas, que auxiliam na identificação e no levantamento da seqüência de cálculo executado pelo autor. Na seqüência do trabalho, tabelas desse tipo serão mostradas, de forma que se consiga compreender o raciocínio utilizado, quando do cálculo da estimativa do dano.

A tabela 4 mostra, na coluna 2, a demanda por energia no ano 1988. Essa coluna é, então, multiplicada pelo aumento percentual da demanda esperado para o ano em que as emissões atingem 2xCO₂. O resultado dessa multiplicação é, por fim, multiplicado pelo preço da eletricidade da coluna 4, resultando nos valores da coluna 5.

É importante apontar para as restrições que o próprio autor faz, em relação às hipóteses simplificadoras adotadas. Para definir o aumento da demanda, os cálculos partem de estimativas realizadas para os Estados Unidos, na forma de uma média do aumento da demanda por energia de 3.2%. Essas estimativas são, então, extrapoladas para os países da OECD, Comunidade Européia e em menor extensão para a China e países do resto do mundo. Para a Rússia é adotado um redução de demanda de energia de 1%, já que alguns países se beneficiarão da elevação da temperatura e, ao invés de aumento, terão uma redução no consumo de energia (FANKHAUSER, 1993, p.15-16).

Um cálculo de dano mais próximo da realidade, neste caso, deveria ser aquele que capturasse mais fielmente a elevação da demanda de energia, devido ao aquecimento global, e levasse em conta as demandas e preços dos países, individualmente, e não de grandes macro-regiões. É lógico que a proposta de Fankhauser, de fazer apenas um cálculo da ordem de grandeza dos equivalentes de consumo do dano, foi logo admitida, no início do trabalho do autor. Entretanto, a adoção de extrapolações de consumo como as feitas por ele, com um único estudo feito para os Estados Unidos, e o uso das macro-regiões, contendo países com características muito diferentes entre si, somadas ao uso de médias de demanda e de preços, não refletem a realidade individual dos países. Isso leva o cálculo a sérios tipos e níveis de questionamentos.

Para esses tipos de hipóteses é que queremos chamar a atenção neste trabalho. A metodologia ou modelação efetuada pelo autor pode afetar o cálculo de uma maneira substancial, redundando em uma estimativa, na forma de equivalentes de consumo, sub ou superavaliada. Isso significa que o modelo, utilizado pelo autor, tem uma limitação ou adota uma simplificação que não pode ser desprezada, embora sirva para o objetivo de dar uma ordem de grandeza do dano para essa categoria.

2.6.3 Cálculo de danos no setor da agricultura

As estimativas de danos no setor agrícola são calculadas com base no ganho de bem-estar devido ao excedente do produtor e do consumidor. Na estimativa de Fankhauser (1993, p. 10), um Modelo Mundial de Alimentos *ad hoc*, é utilizado como base, para determinar essa perda ou ganho de bem-estar. O modelo é capaz de analisar a variação de preços de vinte duas *commodities* agrícolas, em treze regiões. Mudanças de bem-estar são medidas em termos de variações na produção e nos preços. O modelo estima um limite percentual inferior e superior de variação nos excedentes do produtor e do consumidor, na forma de um percentual do produto de cada macro-região. Tais limites são, então, multiplicados pelos produtos internos das macro-regiões. Em seguida é feito uma média entre os dois limites. Essa média é considerada o dano no setor da agricultura. A demonstração dessa operação é mostrada na tabela 5:

Tabela 5 - Cálculo dos danos para o setor agrícola

Macro-região	Mudança de bem-estar no excedente (% PIB)	PIB (mi\$)	Mudança de bem-estar inferior (bi\$)	Mudança de bem-estar superior (bi\$)	Mudança média de bem-estar (mi\$)
(1)	(2') .. (2'')	(3)	(4)=(2')*(3)	(5)=(2'')*(3)	(6)=[(4)+(5)]/2
Estados Unidos	-0.310 .. +0.005	4.847.213	-15.026	242	-7.392,00
Comunidade Européia	-0.400 .. -0.019	4.614.320	-18.457	-877	-9.667,00
União Soviética	-0.520 .. +0.032	6.186.000	-32.167	19.795	-6.186,00
China	-5.480 .. +1.280	372.000	-20.386	4.762	-7.812,00
OECD	-0.316 .. -0.018	13.850.299	-43.767	-2.493	-23.130,00
Mundo	-0.470 .. +0.010	17.018.261	-79.986	1.702	-39.142,00

Fonte: Fankhauser (1993, p.37)

Notas: Adaptado e traduzido livremente de Fankhauser. As colunas 3, 4 e 5 foram incluídas pelo autor já que Fankhauser não detalha os cálculos em seu trabalho original, apenas mostra os resultados da coluna 6.

Preços dados em dólares de 1988.

O raciocínio de Fankhauser é o mesmo utilizado por Tol (2002a, p.51-53), que relata a dificuldade de encontrar estudos que façam essa medição de variações no excedente em escala global. O autor alerta que a maioria dos estudos trata o tema em escala regional ou para uma cultura específica de alimento, que depois é extrapolado para outras regiões ou culturas de cultivo. Tol (2002a) se apóia em cinco estudos, de abrangência global. Entretanto, ele menciona que uma série de hipóteses simplificadoras, extrapolações e manipulações tiveram que ser feitas³². É importante ressaltar que os cálculos de Tol incluem capacidade adaptativa³³ e fertilização por meio de CO₂. Essas duas ações são tomadas para tornar as culturas agrícolas mais resistentes aos efeitos do aquecimento e mais produtivas, respectivamente.

O dano ao setor madeireiro poderia ser considerado como uma subcategoria do dano agrícola. O cálculo do dano dessa subcategoria poderia ser somado ao dano do setor agrícola. A forma de estimação se assemelha ao realizado para agricultura: um modelo que analisasse o setor madeireiro mundial poderia ser empregado. Neste, variações no excedente do consumidor e do produtor seriam medidos, com o objetivo de se constatar a perda de renda, no contexto do aquecimento do clima. Essas variações de excedente seriam, então, escritas como uma fração da renda total do setor madeireiro. Para encontrar o dano, em equivalentes de consumo, essa fração seria multiplicada pelo produto do setor. Outra forma de cálculo seria estimar o preço do metro cúbico da madeira, medir a variação no excedente e multiplicar as duas variáveis. Depois, fazer a multiplicação desse produto pelos preços.

As duas sugestões acima estão contidas em Fankhauser (1993, p.11). Algumas hipóteses simplificadoras foram adotadas pelo autor: face à indisponibilidade de dados, por exemplo, o excedente do consumidor foi estimado como uma proporção do produto, diferente do excedente do produtor que foi calculado com base no produto do setor madeireiro. Outra simplificação: o preço do metro cúbico da madeira foi deduzido, baseado em uma lista de alguns poucos países que declaram, separadamente em suas contas nacionais, o produto do setor madeireiro. Esse valor foi, então, extrapolado para os demais países ou macro-regiões com o objetivo de se calcular o excedente do produtor.

³² Para maiores detalhes, ver Tol (2001a, p.51).

³³ A adaptação é uma ação tomada dentro do contexto da mudança do clima para prover proteção contra os efeitos do aquecimento global, reduzindo o tamanho dos danos. Ela pode ser empregada em todas as categorias de danos. Por exemplo, no caso da agricultura, poder-se-ia empregar sementes mais resistentes ao calor e às variações do clima. Ela mitigaria o efeito do aquecimento global, tornando as colheitas menos suscetíveis às mudanças extremas no clima.

Tol (2002a, p.52-53) descreve uma metodologia similar. Utiliza um trabalho que têm dois modelos: um de crescimento do setor florestal e um de avaliação do mercado madeireiro. Isso permite medir variações na produção e nos preços e daí medir os excedentes de produtor e consumidor. Embora, mais recente, o trabalho de Tol também utiliza uma série de hipóteses adicionais e ajustes, mostrando as limitações que os modelos ainda têm para tratar desse dano.

2.6.4 Cálculo de danos relacionados à água

A base para o cálculo de dano, no caso da água, parte da idéia inicial de se medir a redução de água que o aquecimento global vai provocar no futuro. Então, procede-se com a multiplicação dessa redução pelo consumo atual da região ou macro-região. O resultado é a perda de água em metros cúbicos. Essa perda é, então, multiplicada pelo preço estimado da água, resultando, assim, no dano na forma de equivalentes de consumo. Esse é o raciocínio encontrado em Fankhauser (1993, p.14). Na estimativa dele, a redução na disponibilidade de água é baseada em estudos de Cline (1992), que estimou uma redução média na disponibilidade de água em cerca de 10%, para os Estados Unidos. Fankhauser extrapola esse percentual para o mundo, reduzindo-o para 7%. Ele, então, estima o consumo mundial de água a partir de dados do Instituto Mundial de Recursos. Os preços do metro cúbico da água são baseados em dados do *The Economist*, de 1991. Todos esses dados estão indicados na tabela 6, abaixo, que mostra o cálculo de danos para o setor de águas – 46,8 bilhões de dólares em equivalentes de consumo

Tabela 6 - Cálculo de danos econômicos relacionado à perda de água

Macro-região	Consumo de água (m3)	Redução do consumo	Redução do consumo (m3)	Preço da água (USD/m3)	Perda de bem-estar (USD)
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)*(3)	(5)	(6)=(4)*(5)
Comunidade Européia	218.000.000.000	7%	15.260.000.000	0,92	14.039.200.000,00
Estados Unidos	467.000.000.000	7%	32.690.000.000	0,42	13.729.800.000,00
União Soviética	353.000.000.000	7%	24.710.000.000	0,12	2.965.200.000,00
China	460.000.000.000	7%	32.200.000.000	0,05	1.610.000.000,00
OECD	889.000.000.000	7%	62.230.000.000	0,56	34.848.800.000,00
Mundo	3.296.000.000.000	7%	230.720.000.000	0,20	46.749.000.000,00

Fonte: Fankhauser (1993, p.46)

Notas: Adaptado e traduzido livremente de Fankhauser. As colunas 3, 4 e 5 foram incluídas pelo autor já que Fankhauser não detalha os cálculos em seu trabalho original, apenas mostra os resultados da coluna 6. Preços dados em dólares de 1988.

É importante dizer que o próprio autor aponta restrições ao seu cálculo: o valor de 7% de redução na disponibilidade de água é uma estimativa derivada de um único estudo realizado para os Estados Unidos. Fankhauser lembra ainda que regiões áridas e semi-áridas devam sofrer uma redução muito mais intensa na disponibilidade de água, devido ao aquecimento global³⁴, superando os 7%. Apesar disso, ele não empregou esses maiores valores percentuais no cálculo dele. Por fim, o autor também menciona que suas estimativas não calcularam os equivalentes de consumo de danos provenientes da recreação (atividades de lazer que envolvem reservatórios de água) e da pesca. Tais danos seriam significativos e difíceis de serem avaliados (FANKHAUSER, 1993, p.14).

A perda de água doce, devido à elevação do nível do mar e a intrusão da água salgada em mananciais e fontes de água para o consumo, não é calculada na forma de equivalentes de consumo, nem em Fankhauser (1993), nem em Tol (2002a). Além disso, os *danos socialmente condicionados*, que recaem sobre a população também não são estimados, tais como, o efeito da sede sobre a população, os problemas políticos gerados pela posse de fontes de água, a propagação de doenças ligadas à higiene pessoal, etc. Isso significa que o dano global para o setor de água, nos atuais modelos de cálculo, deve estar subestimado. Além disso, no caso de Fankhauser (1993), foi adotada a hipótese simplificadora de que a redução da disponibilidade da água seria idêntica para todas as macro-regiões do mundo, de 7%, que é uma hipótese questionável.

No conjunto, todas as simplificações e omissões, indicadas para a categoria de dano da perda de água, corroboram para uma eventual subestimação do dano.

2.6.5 Cálculo de danos relacionados à saúde

O cálculo de danos na forma de equivalentes de consumo para o setor de saúde, busca contabilizar o número de mortes causado pelo aumento da temperatura média global. O passo

³⁴ Uma discussão bem mais ampla sobre o uso da água, sua disponibilidade e sugestões de política é encontrada em Cline (1992, p.122-127). O autor descreve, por exemplo, a existência de vários estudos, feitos em alguns países, estimando o impacto do aquecimento sobre os recursos hídricos. Um desses estudos diz que na antiga União Soviética, por exemplo, haveria um incremento entre 10 e 20% na disponibilidade de água dos rios, com a elevação de temperatura de 2°C, em razão do derretimento de áreas que hoje são cobertas de gelo.

seguinte é atribuir um valor à morte. O produto entre mortes e valor atribuído corresponde ao equivalente de consumo da categoria de dano da saúde. Basicamente esse é o método descrito tanto em Fankhauser (1993, p.16-18), como em Tol (2002a, p.59-62).

Duas são as dificuldades impostas. A primeira diz respeito à falta de modelos que mostrem o número real e a projeção de mortes causada pela ocorrência de situações extremas de temperatura – muito frio ou muito calor. A segunda dificuldade está relacionada à decisão ética de se atribuir valor, na forma de equivalentes de consumo, às mortes. Essa atribuição é encontrada na literatura com o nome de *valor da vida estatística*³⁵.

Tol (2002a, p.60) baseia-se em um estudo de cálculo de mortes, por razões cardiovasculares e respiratórias, mediante a elevação da temperatura de 1°C. Tal estudo faz o levantamento das mortes para 17 países. Usando algumas equações de regressão, Tol extrapola as mortes para o mundo (e para as macro-regiões de seu modelo) e obtém o número de mortes.

Para o caso de doenças transmitidas por vetores – malária, dengue e esquistossomose – Tol (2002a, p.61) utiliza vários estudos específicos, de outros autores, aplica algumas correções³⁶ e obtém o número de mortes, para a hipótese de que a elevação da temperatura será de 1°C.

Baseado em trabalho de Cline (1992) ele define que o valor da perda de uma vida equivale a duzentas vezes o valor da renda média *per capita* das macro-regiões do modelo que ele criou. Então, o dano estimado, em cada macro-região, seria igual ao número de mortes, multiplicado por duzentas vezes a renda *per capita* da região. O dano total seria a soma dos danos de cada macro-região.

Basicamente, o raciocínio descrito acima é também seguido por Fankhauser (1993, p.16-18). A única distinção que se faz é que ele define valores fixos para a *vida estatística* e não baseados na renda *per capita*.

³⁵ Uma explicação desse processo de atribuição de equivalentes de consumo é encontrada em Fankhauser (1993, p.17). Ele esclarece que a *vida estatística* não é a medida da vida como tal, mas a quantidade de dinheiro necessária para compensar as pessoas pelo risco adicional de morrer. Uma descrição mais detalhada sobre o tema, inclusive sobre implicações econômicas de escolha do *valor estatístico*, pode ser encontrada em Cline (1992, p.116-118).

³⁶ Para detalhes de tais correções ver as explicações em Tol (2002a, p.61-62).

Nenhum dos autores calculou os equivalentes de consumo de gastos de mitigação das mortes, tais como tratamentos médicos, internações, gastos com remédios, etc. Estes, com certeza aumentariam o valor do dano da categoria relacionada à saúde humana.

2.6.6 Cálculo de danos relacionados à perda de ecossistemas e biodiversidade

A estimativa de cálculo de danos para os ecossistemas e para a biodiversidade tem sido feita por meio da estimação do valor equivalente de consumo das espécies. Segundo Cline (1992, p.104-105), os economistas têm identificado o valor econômico das espécies por meio das técnicas de valor de uso, de opção e de existência.

O valor de uso é o mais óbvio e se relaciona com a idéia de se empregar a espécie diretamente na produção de um bem. O uso de uma planta para a produção de algum remédio ou como alimento exótico, por exemplo. O valor de opção é a técnica de se estimar o valor econômico, baseado na idéia de preservar a espécie, esperando que ela tenha um valor econômico no futuro³⁷. Já o valor de existência é calculado com base no método chamado de *equivalente contingente (contingent valuation)*³⁸. Esse método estabelece quanto, em média, cada pessoa está deseiosa em pagar para preservar uma espécie ameaçada.

No caso de Fankhauser (1993, p.9-10) ele define, de maneira arbitrária, que os cidadãos estão dispostos a pagar, por valor de existência, 10 dólares por espécie ameaçada em países de renda mais alta, 3 dólares em países de renda média e 1 dólar em países de renda baixa. Esses valores são multiplicados pela população das regiões.

Para o cálculo do valor de uso e de preservação, o método é um pouco diferente: multiplica-se o valor de existência pelo número de espécies ameaçadas de extinção na região e pelo número percentual de espécies em extinção. Ao fim, esse produto é multiplicado pelo número de habitantes da região (FANKHAUSER, 1993, p.10). A figura 9 mostra o raciocínio desenvolvido pelo autor.

³⁷ Ver a defesa e os exemplos de valor de opção em Cline (1992, p.105).

³⁸ Para um maior entendimento sobre o assunto ver Arrow et al. (1993).

Figura 9 – Exemplo de cálculo de danos para valores de uso, existência e opção

Sequência	Descrição	Valores
(1)	Número de espécies ameaçadas	162
(2)	Perigo de extinção das espécies (%)	2
(3)	Valor existência (USD)	10
(4)	Valor de uso/opção (USD)	5
(5)	Número de habitantes	246.000.000
(6)=(3)*(5)	Danos devido ao valor de existência (USD)	2.460.000.000,00
(7)=(1)*(2)*(5)	Danos devido ao valor uso/opção (USD)	3.985.200.000,00
(8)=(6)+(7)	Total (USD)	6.445.200.000,00

Fonte: Fankhauser (1993, p.10;p.36).

Notas: Elaborado pelo autor, com base na descrição feita por Fankhauser. O cálculo acima é o raciocínio que Fankhauser desenvolveu para estimar os danos da perda de espécies. Optamos por exemplificar aqui apenas os cálculos feitos para os Estados Unidos. Fankhauser realiza os cálculos para as demais macro-regiões. Preços dados em dólares de 1988.

Tol (2002a) adota um valor de existência de 50 dólares por habitante/pessoa e depois o pondera pela renda *per capita* das macro-regiões. Entretanto, não fica claro os passos para se obter os danos totais.

A soma dos valores de existência, de uso e de preservação é o dano em perdas de espécies e biodiversidade, conforme exemplificado na figura 9.

Nesta categoria de dano, além das escolhas aleatórias de valores, há sérias dificuldades para se levantar dados sobre espécies ameaçadas e em risco de extinção, o que pode por em dúvida o montante do dano.

2.6.7 Cálculo de danos de eventos extremos do clima

A elevação da temperatura modificará os fluxos naturais de evaporação, encurtando o intervalo entre precipitações, evaporação e novas precipitações. Esse menor tempo implicará em eventos do clima mais curtos e severos, tendo impactos, por vezes, trágicos, tais como a queda de grandes tormentas de água e inundações. Da mesma maneira, localidades que sofrem estiagens prolongadas hoje, podem sofrer com períodos ainda mais longos de falta de água e escassez.

Desastres naturais e fenômenos extremos, tais como as inundações, estiagens, furacões e tufões tornar-se-ão mais comuns, com aumento das suas intensidades. Eles estarão, ao

mesmo tempo, associados a custos consideráveis na forma de mortes e de destruição (FANKHAUSER, 1993, p.20).

A despeito de vários tipos de fenômenos extremos, Fankhauser (1993, p.20) alerta que em seu trabalho o cálculo somente foi feito para os danos decorrentes dos ciclones. Sua justificativa foi a de que os ciclones são responsáveis por mais da metade das mortes de pessoas na categoria de dano de fenômenos extremos. Ele deixa claro que os danos totais devem exceder a estimativa calculada por ele. São dois os tipos de danos dos fenômenos extremos, calculados pelo autor: os materiais e os devido à morte das pessoas.

Baseado no estudo de outro autor, Fankhauser (1993, p.21) estimou que o dano, na forma de equivalentes de consumo, devido à incidência de ciclones, girava em torno de 1.5 bilhões de dólares por ano. No cenário de 2xCO₂, a incidência de tufões aumentaria entre 40% e 50%. Como decorrência, o autor calculou um valor adicional de dano de 700 milhões de dólares³⁹. Esse foi o dano estimado para perdas materiais.

Para o caso de perda de vidas, foi estimado que entre 15.000 a 23.000 pessoas morrem por ano, devido aos tufões. Igualmente, com o aumento das concentrações de gases de efeito estufa, um acréscimo de 40 a 50% nas mortes foi estimado. O autor calculou o número adicional de mortes, devido aos ciclones, em 9.000 pessoas⁴⁰.

Na seqüência, Fankhauser aplicou sobre o número adicional de mortes, o *valor da vida estatística*, previamente apurada no trabalho⁴¹. Com isso ele obteve o valor de dano devido dos fenômenos extremos para a perda de vidas⁴². O raciocínio de cálculo é visto na tabela 7.

³⁹ Fankhauser fez a média entre 40 e 50% de aumento do dano, ou seja, 45% sobre 1.5 bilhões de dólares. O resultado seria de 675 milhões de dólares, que o autor arredondou para 700 milhões.

⁴⁰ O autor multiplicou a média percentual de mortes adicionais, pela média do número de mortes, ou seja, 45% multiplicado por 19.000 mortes, que resultaria num número adicional de mortes de 8.550 pessoas. No estudo, Fankhauser arredondou o número de mortes para 9.000.

⁴¹ Os valores de *vida estatística* adotados por Fankhauser (1992, p.17-18) foram: 1.500.000 de dólares para países desenvolvidos, 300.000 dólares para países de renda média e 150.000 dólares para países de baixa renda.

⁴² Não entraremos nesse nível de detalhes, mas Fankhauser (1993) adotou algumas aproximações e decisões quando fez a divisão das mortes e dos danos materiais entre as macro-regiões. Por exemplo, ele definiu que os danos materiais, no mundo desenvolvido, seriam dez vezes maiores que aqueles em países em desenvolvimento. Também definiu que o número de mortes nos países de baixa e média renda seriam dez vezes maiores do que as mortes que ocorreriam nos países desenvolvidos. Para uma síntese dos danos e descrição das hipóteses ver Fankhauser (1993, p.21-22; p.45), já que não exemplificaremos aqui os danos materiais, causados pelos fenômenos extremos.

Os valores da coluna 4 deveriam ainda ser acrescidos dos danos materiais, em cada macro-região. Com isso se obteria o total dos danos, devido aos eventos extremos do clima.

Tabela 7 - Cálculo dos danos dos fenômenos extremos (somente perda de vidas)

Macro-região	Número de mortes adicionais	Valor estatístico da vida (mi USD)	Dano devido à perda de vidas (mi USD)
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)*(3)
Estados Unidos	49	1.500	73.500
OECD	352	1.500	528.000
União Soviética	49	300	14.700
China	876	150	131.400
Total			747.600

Fonte: Fankhauser (1993, p.45)

Notas: Reprodução parcial da tabela elaborada por Fankhauser, mostrando os danos devido à morte de pessoas. Preços dados em dólares de 1988.

Conforme já comentado, Fankhauser (1993), nos cálculos dele, apenas estimou os impactos econômicos dos ciclones, deixando de fora outros eventos extremos do clima. Isso significa que seus cálculos devem estar subavaliando os valores dessa categoria de dano. *Danos socialmente condicionados*, tais como a fome, a sede, os deslocamentos devido à destruição, também não foram estimados pelo autor.

É importante dizer que Tol (2002a, p. 63-64) sequer calcula os danos de fenômenos extremos do clima no estudo dele. O autor deixa claro que esse é um dos impactos omitidos no seu trabalho. Ele justifica, dizendo que essa omissão é devido à inexistência de estudos mais amplos em que ele possa se basear.

Num trabalho bem mais recente, Tol (2008, p.14) explica que mesmo que as tempestades extratropicais aumentem e ele declara que elas aumentarão, causando mais danos, ainda não se sabe como a mudança do clima alterará a frequência, a intensidade e a distribuição das tempestades tropicais. Isso significa que permanece o *gap* de conhecimento sobre essa categoria de dano e muitos dos danos advindos desses fenômenos continuarão a ser subestimados nos modelos de cálculo.

2.6.8 Cálculo de danos de eventos potencialmente catastróficos

O cálculo dos danos potencialmente catastróficos segue sem trabalhos aprofundados de estimação. Nem Fankhauser (1993), nem Tol (2002a) chegam a quantizar esses danos em seus trabalhos.

Apesar dos impactos grandiosos esperados por esses eventos, há ainda muito pouco entendimento de como e em quê velocidade eles poderiam ocorrer. Devido a esse elevado nível de desconhecimento, a maioria dos estudos não quantifica esses danos. Sabe-se, entretanto, que apesar de ser pequena a probabilidade de ocorrência no curto prazo, no longo prazo, caso ocorram, esses danos não serão marginais e terão grande impacto sobre o ambiente (SCHNEIDER, 1989) e as espécies, já que mudanças muito rápidas do meio ambiente e na temperatura, deixa pouco tempo para que as espécies e os seres humanos possam se adaptar.

Assim, a omissão dessa categoria de danos, nos atuais modelos de cálculo, deve estar subestimando o dano total causado pelo aquecimento global.

2.7 Comentários finais

Em toda a seção 2.6 mostrou-se como a maior parte dos danos e suas categorias são estimadas. É preciso, mais uma vez, reforçar que hoje, a maioria desses cálculos é realizado por programas do tipo MAI, que tratam uma imensa quantidade de informações. Para tal, esses modelos são alimentados com uma série de dados tais como as que vimos nas seções anteriores: tamanho da população, espécies em extinção, valor da vida estatística, variações na demanda de água e energia, entre outros. Automaticamente esses modelos vão se abastecer nesses bancos de dados, cruzando informações e obtendo o cálculo de danos. Fizemos questão de demonstrar como alguns desses cálculos são feitos, manualmente, para mostrar didaticamente como se dá o processo de *valuation* do dano.

Esse capítulo foi desenvolvido, buscando sempre apontar que os modelos ainda carecem de evolução e de aperfeiçoamento. Há ainda muitos danos que não são capturados pelos modelos. Há também uma grande quantidade de hipóteses simplificadoras e extrapolações que poderiam ser evitadas, se os modelos pudessem conter informações num nível mais individualizado e não como exemplificado nos trabalhos de Tol (2002a) e Fankhauser (1993), que agrupam vários países nas chamadas macro-regiões. Essa agregação leva os autores a adotar médias e extrapolações para a maioria dos cálculos. Esses procedimentos não devem capturar as especificidades de cada país, embora permitam, pela simplicidade, obter uma ordem de grandeza do dano. Há, portanto, amplo terreno de trabalho e de pesquisa para que se possa empreender estimativas de danos mais próximas da realidade e que não estejam, de alguma maneira, sobre ou subavaliada.

Conforme nos alerta Tol (2008, p.3), as primeiras estimativas sérias de danos, buscando detalhar as perdas de bem-estar, causadas pela mudança do clima, começaram a ser feitas em meados dos anos 1990. Isso significa que se tem uma história muito recente, com esses tipos de modelos de cálculo. Não obstante, é necessário avançar rápido a agenda de pesquisa para, assim, poder construir modelos que sejam capazes de capturar um número maior de danos e que não sejam plenos de extrapolações e simplificações.

Embora tenha-se apontado as omissões e simplificações, apoiamos a idéia de que elas não se devem à decisão deliberada dos autores, com o objetivo de deixar de fora dos modelos determinados tipos de danos. Tais danos ainda não são plenamente incluídos ou capturados pelos procedimentos de cálculo, pois há ainda muito a ser feito em termos de pesquisa, tanto no campo da ciência natural (para melhor compreensão do fenômeno do aquecimento global e do sistema climático), quanto no campo sócio-econômico (previsões de crescimento econômico e da população, por exemplo).

Os modelos de estimação econômica dos danos ainda se apóiam, em grande medida, em estudos científicos e micro-modelos, que capturam danos naturais e que, depois, precisam ser adaptados para transformar tais danos em algum tipo de numerário. Tais micro-modelos muitas vezes carecem de completude, já que são construídos para situações ou regiões particulares e, depois, são extrapolados ou adaptados com o objetivo de representar um número maior de regiões ou propósitos. O problema é que talvez, para outras regiões, o micro-

modelo não reproduza, de maneira satisfatória, os resultados obtidos na situação particular. Assim, é natural que caminhemos no sentido de ir, gradativamente, aumentando o número de estudos científicos e micro-modelos, incluindo-os nos modelos de estimação do dano, de maneira a reduzir as simplificações e omissões dos atuais modelos.

É auspicioso, então, que se encontre, cada vez mais, modelos de avaliação integrados de grande complexidade, tais como os modelos FUND (2007, 2008a, 2008b) e DICE (2007), assim como, novos estudos científicos (IPCC, 2007a; 2007b; 2007c) e pesquisas de estimação de danos, como as desenvolvidas por autores como Richard Tol, William Nordhaus e Nicolas Stern. Tudo isso têm adicionado novas fronteiras de conhecimento com o objetivo de reduzir *gaps* que envolvem a estimação dos danos, causados pelo aquecimento global.

3. PONDERAÇÃO OU PESOS DE IGUALDADE (*EQUITY WEIGHTING*)

No capítulo anterior vimos como os danos naturais do aquecimento global podem ser traduzidos em equivalentes de consumo – *valuation* do dano. Tais estimativas são calculadas para algumas categorias de danos; elevação do nível do mar, agricultura, uso de energia, fornecimento de água, saúde, biodiversidade, eventos extremos do clima e fenômenos potencialmente catastróficos. Cada um desses danos e eventuais sub-danos são calculados, individualmente. Depois eles são somados para a obtenção do dano total. Tol (2008, p.7) menciona que essa técnica é chamada de técnica enumerativa. Ela consiste na idéia de que a partir de estudos científicos naturais ou experimentos de laboratório, os impactos físicos são multiplicados por seus respectivos preços e depois somados para a obtenção do dano total. Nesse processo, algumas extrapolações são realizadas quando as estimações são conduzidas.

Muitas vezes os danos são extrapolados a partir de um resultado ou estimativa específica, feita para uma situação particular ou para uma determinada região do planeta. Essas situações particulares são estendidas ou extrapoladas como se fossem idealmente aplicadas a outras regiões ou situações. Esses processos de extrapolação, simplificação, etc., são levados a cabo por meio de comparações populacionais, características regionais comuns, frequência de ocorrência⁴³, etc. (ANTHOFF, 2004, p.23-24). Embora sejam aproximações aceitas e freqüentemente praticadas na literatura, elas não necessariamente refletem a realidade da região ou país, num nível mais individualizado.

As aproximações e extrapolações sofrem de um segundo e mais grave problema: a ausência do ajuste do dano pela renda regional – procedimento conhecido pelo nome de ponderação (*equity weighing*). As primeiras estimativas de danos do aquecimento global, realizadas pelo IPCC, não corrigiam o valor estimado do dano, na forma de equivalentes de consumo, pela renda *per capita*. Isso gerou sérias críticas (PEARCE, 2003, p.372). É defensável que essa correção seja feita. Anthoff (2004, p.10), por exemplo, defende que a

⁴³ No capítulo 2 deste trabalho, pudemos mostrar alguns exemplos desse tipo procedimento, como a estimação dos danos causados pelos ciclones.

ponderação é facilmente justificável, no contexto dos fenômenos que precipitam a mudança do clima:

O conceito de ponderação pode ser facilmente resumido e justificado por meio de um simples exemplo. Para uma pessoa que tenha uma alta renda, digamos de 5.000 libras, uma mudança de 1 libra na renda, provavelmente terá um efeito menos dramático, no bem-estar, do que a mesma mudança para uma pessoa de baixa renda. Por exemplo, para uma pessoa que tenha uma renda de 100 libras por mês (ANTHOFF, 2004, p.10, tradução nossa).

Isso significa dizer que o dano que o aquecimento global causa, tem um fardo muito maior para as populações de menor renda do que para as populações de maior renda. Percentualmente, o valor da renda comprometida para suportar ou se adaptar aos danos, na forma da perda de bem-estar, é muito maior para as populações mais pobres, do que é para as populações mais ricas. A ponderação possibilita essa comparação entre rendas, assim como permite o cálculo do peso real que a perda de bem-estar, em equivalentes de consumo, tem para cada grupo de renda das populações. Ela é especialmente apropriada no contexto da mudança do clima, já que os danos, provavelmente, afetarão pessoas com diferentes níveis de riqueza, ao redor do mundo (ANTHOFF, 2004, p.3).

Resultados empíricos (PEARCE, 2003; TOL, 2005; CLARKSSON e DEYES, 2002) mostram que o uso da ponderação, aplicada aos danos provenientes do aquecimento global, resultam em danos maiores para os pobres, quando comparados aos mesmos danos sem ponderação. Pearce (2003, p.372-375) mostra vários exemplos de cálculos em que, quando a ponderação é aplicada, os danos se elevam, com o fardo maior recaindo sobre os mais pobres.

Um exemplo simplificado, dado pelo autor (PEARCE, 2003 apud FANKHAUSER, 1995, p.372-373), mostra os efeitos da ponderação caso o mundo fosse dividido em apenas duas regiões: a rica e a pobre. O dano previamente calculado para os ricos, de forma similar à desenvolvida no capítulo 2, é de 216 bilhões. Para os pobres, o dano calculado é 106 bilhões. Isso significa que o dano total, resultaria da soma dos danos das duas regiões, ou seja, 322 bilhões de dólares.

Apoiando-se na fórmula padrão da ponderação, que demonstraremos nas seções seguintes, o autor recalcula os danos para os ricos e para os pobres. Para a região rica os danos são reduzidos de 216 para 72 bilhões, enquanto que para a região pobre os danos triplicam, saltando de 106 para 318 bilhões. Significa dizer que o dano total salta de 322, sem ponderação, para 390 bilhões com a ponderação. Um aumento global de 20%. Um quadro comparativo pode ser visualizado por meio da tabela 8.

Tabela 8 – Demonstração dos danos, com e sem ponderação

	Sem ponderação (bilhões USD)	Com ponderação (bilhões USD)	Variação
Dano para a região rica	216	72	-67%
Dano para a região pobre	106	318	200%
Dano total	322	390	21%

Fonte: Pearce (2003, p.372-373)

Notas: Elaboração do autor com base no trabalho de Pearce.

A tabela 8 mostra que, no caso dos pobres há um aumento nos danos de 200%. O dano sem ponderação, de 106 bilhões, salta para 318 bilhões de dólares após a ponderação. Isso mostra o maior fardo que recai sobre populações mais pobres, quando se pondera o dano pela renda *per capita*. A ponderação pode aumentar significativamente o dano, embora em algumas situações ela resulte em redução das estimativas⁴⁴ (FANKHAUSER, TOL e PEARCE, 1997, p.249).

Se todos os cidadãos do mundo fossem igualmente ricos, nenhum tipo de correção do dano pela renda seria necessário⁴⁵. Entretanto, dado que no mundo real as pessoas não são igualmente ricas, ou seja, possuem diferentes níveis de riqueza e renda, algum tipo de correção precisa ser feita. Essa correção é a ponderação pela renda⁴⁶. Na seqüência do trabalho nos proporemos a detalhar as bases teóricas da ponderação.

⁴⁴ Isso ocorre quando o coeficiente de aversão ao risco η assume valores menores do que 1 (quando $\eta=0.5$, por exemplo). Para detalhes ver Pearce (2003, p.373).

⁴⁵ A renda média seria igual e a perda de bem-estar se dividiria igualmente entre a população.

⁴⁶ Azar e Sterner (1996) defendem que se os cidadãos fossem recompensados de alguma forma, pelo sofrimento ou perda de bem-estar, causado pelo aquecimento global, nenhum tipo de ponderação seria necessário. Entretanto, eles reconhecem que no contexto da mudança do clima, é provável que compensações não sejam pagas, o que justifica o uso da ponderação para compensar a perda de renda ou perda de bem-estar.

3.1 Funções de utilidade

As emissões de gases de efeito causarão danos. Esses danos naturais se traduzirão em impactos econômicos. As pessoas terão algum tipo de dispêndio para se adaptar ou para conviver com os impactos da mudança do clima. Se considerarmos que as pessoas terão que comprometer parte da sua renda ou terão que reduzir o seu consumo para suportar e conviver com esses impactos, haverá uma perda de bem-estar. Esta perda tem implicações: a renda que seria devotada ao consumo⁴⁷, terá que ser utilizada para contenção ou adaptação aos efeitos da mudança do clima.

A ponderação se apóia fortemente nas teorias de bem-estar social. Logo, para entendermos o que se esconde por trás da ponderação, devemos entender cada um dos componentes que conduzem à ela. Iniciaremos definindo funções de utilidade, mostrando sua relação com a questão do aquecimento global.

O pai do utilitarismo foi Jeremy Bentham. Sua doutrina se apoiou na idéia de que a maior quantidade de felicidade deve ser o fim. Deve ser o guia para as ações dos indivíduos e dos governos. Nos tempos modernos poderíamos dizer que felicidade pode ser entendida como bem-estar ou como a maximização desse bem-estar (LITTLE, 2002, p.39).

Nos livros texto de economia, as funções de utilidade são empregadas para capturar o nível de felicidade dos indivíduos, quando confrontados com determinadas escolhas. As pessoas buscam maximizar a sua satisfação nesse processo de seleção. Esta abordagem, de escolha por ordenação, por estruturação das alternativas, está ligada ao que se convencionou chamar de utilidade ordinal; escolha baseada em ordem de preferência; se prefere A a B, por exemplo. No contexto da mudança do clima, funções de utilidade são empregadas para medir a satisfação conseguida, mediante variações no nível da renda ou consumo. Nessa situação, a função de utilidade é empregada de maneira cardinal, ou seja, mais do que a ordenação das

⁴⁷ Aqui seguimos a noção de consumo defendida por Anthoff (2004, p.11). Para ele, todo o prazer que uma pessoa pode extrair do consumo é consumo, incluindo produtos comprados no mercado e produtos que não tem seus preços definidos nos mercados (*non-market goods*), como as paisagens naturais, por exemplo.

preferências, há uma necessidade de comparar quantidades ou valores, por exemplo, a renda ou o consumo⁴⁸.

Deste ponto em diante, me basearei no trabalho de Anthoff, Hepburn e Tol (2006) com o objetivo de demonstrar como a ponderação é deduzida. As fórmulas matemáticas que serão definidas na seqüência se baseiam no trabalho desses autores. Outros poderão ser mencionados, em passagens específicas, quando necessário. Isso ocorrerá quando a obra mencionada não for suficiente ou não contiver o nível de detalhamento que necessitamos para a explicação dos passos da ponderação⁴⁹.

É provável que o aquecimento global provoque variações nos níveis de renda e consumo das pessoas, já que parte do consumo/renda estará comprometida com ações de adaptação à mudança do clima. Podemos medir essas variações da satisfação, proporcionada pelo consumo, por meio de funções de utilidade. A função mais comum, nos estudos de mudança do clima, é a função de utilidade isoelástica. Ela pode ser definida conforme a equação (1) abaixo:

$$u(c) = \frac{c^{1-\eta}}{1-\eta} \quad (1)$$

Sendo:

$u(c) =$	Utilidade individual proporcionada pelo consumo
$c =$	Fluxo de consumos ao longo do tempo
$\eta =$	Coefficiente individual de aversão ao risco ou à desigualdade

⁴⁸ Essa comparação de quantidades poderá ser feita na forma de algum tipo de numerário, consumo ou renda, por exemplo. Ou como mencionamos nos capítulos anteriores, na forma de equivalentes de consumo.

⁴⁹ Além disso, tomarei a liberdade de modificar algumas das fórmulas e deduções dos autores com o objetivo de mostrar apenas as equações que interessam à demonstração da ponderação. Anthoff, Hepburn e Tol (2006), por exemplo, tratam da ponderação e da descontagem conjuntamente. Tratarei deste último tema apenas no capítulo 4 desse trabalho. Dessa forma, os parâmetros matemáticos que tratem de descontagem ou algum outro tema específico, que fuja do assunto ponderação, serão negligenciados. Quando necessário, será incluída alguma nota explicativa alertando sobre convergências ou divergências entre as demonstrações que faremos e aquelas feitas pelos autores, Anthoff, Hepburn e Tol.

A equação (1) mede a utilidade $u(c)$, que o consumo c proporciona ao indivíduo. Sendo, η , o coeficiente individual de aversão ao risco ou a desigualdade. Ele é um parâmetro que mede o grau de aversão que as pessoas têm em relação à desigualdade. Esse parâmetro também é chamado de taxa da elasticidade marginal do consumo e será mais bem detalhado no capítulo 4 deste trabalho.

A equação (1) é amplamente utilizada na literatura. Ela é mencionada em Anthoff e Tol (2007), Anthoff, Hepburn e Tol (2006), Anthoff (2004), Azar e Sterner (1996), Fankhauser, Tol e Pearce (1997) e Pearce e Ulph (1995). Todos esses autores utilizam a equação definida em (1) em seus trabalhos. Ela é adequada ao nosso exemplo, pois captura de maneira clara a idéia de que a utilidade decresce com o aumento do consumo. A demonstração que faremos nesse capítulo sobre a ponderação pode, com pequenas variações e refinamentos, ser encontrada no trabalho dos autores mencionados nesse parágrafo. Por entender que a explicação de Anthoff, Hepburn e Tol (2006) é a mais completa e refinada⁵⁰, optou-se por tê-los como os autores de base para a explicação da ponderação.

A equação (1) mede a utilidade individual, que advém do consumo. Se quisermos agregar ou somar os consumos individuais, de forma a obtermos a utilidade coletiva, precisamos fazer uso de uma função de bem-estar social (ANTHOFF, 2004, p.15). Para isso necessitamos definir uma função de bem-estar social. Por meio dela podemos fazer a soma dos variados níveis de utilidade individual, obtendo-se, assim, a utilidade total, quer seja ela de um conjunto pequeno de pessoas, quer seja da sociedade como um todo.

3.2 Funções de bem-estar social

Funções de bem-estar social (FBS) são utilizadas com o objetivo de agregar as utilidades individuais. Existem várias funções de bem-estar social. A escolha de um tipo de FBS geralmente envolve uma série de implicações de ordem ética e moral. Isso significa que

⁵⁰ É bem verdade também que a explicação de Anthoff, Hepburn e Tol (2006) é a que mais abusa da formalização matemática, o que deve ser uma barreira para o leitor não muito habituado.

determinadas funções, quando aplicadas, têm o efeito de dar mais peso a determinados indivíduos, em oposição ao menor peso dado a outros.

Além disso, há questionamentos se as funções de bem-estar social poderiam ser utilizadas, livre de simplificações. Howarth e Monahan (1992), por exemplo, dizem que há problemas conceituais na utilização das funções de bem-estar. Por exemplo, que é questionável medir bem-estar de pessoas no futuro; pessoas que sequer nasceram ou são conhecidas. Anthoff (2004, p.12-13) é cuidadoso em dizer que algumas simplificações devem ser adotadas no uso das funções de bem-estar social, que o tema é controverso, mas que as hipóteses são razoáveis no sentido de ser um meio termo entre a precisão e a facilidade de uso. Dentre as hipóteses passíveis de discussão ele destaca a idéia de que a utilidade possa ser separável no tempo e que possa ser somada, de forma discreta. Na demonstração que faremos na seqüência do trabalho, adotaremos as simplificações adotadas por Anthoff (2004); a de é possível praticar a separação e soma das utilidades individuais.

Passemos adiante, discorrendo um pouco sobre as implicações éticas e morais de algumas das funções de utilidade. A função de bem-estar *utilitariana*, por exemplo, preconiza que o importante é a soma das utilidades. Quanto maior a utilidade coletiva, melhor. Não importa se dentro do conjunto de indivíduos há uns com maior e outros com menor satisfação ou nível de utilidade. O ótimo social, ou seja, o objetivo é maximizar a utilidade coletiva. Isso implica em não se importar muito em como se dá a distribuição da utilidade, no interior do conjunto ou amostra de indivíduos. A utilidade individual não importa desde que a utilidade total seja a maior possível. Não há preocupação com a justiça entre os pares, o que importa é que a soma das utilidades seja a máxima possível.

A função de bem-estar do tipo *rawlsiana*⁵¹, ao contrário, privilegia os mais pobres no conjunto de indivíduos. Peso maior é dado aos mais pobres em detrimento aos mais ricos. O ótimo social resultante da função de bem-estar *rawlsiana* mostra-se extremamente desigual (CEPA, 2008; PEARCE, 2003), embora seu objetivo seja o de maximizar a utilidade dos mais pobres. Isso ocorre, pois a função *rawlsiana* minimiza a função de utilidade com base na utilidade do mais pobre. Ele não leva em consideração que os membros mais produtivos da

⁵¹ *Rawlsiana* pois se refere a John Rawls. Para maior aprofundamento sobre esse autor ver Rawls (1972).

sociedade possam contribuir para o aumento do bem-estar geral e acaba por igualá-los aos membros menos produtivos.

As FBS mais utilizadas, no contexto do cálculo de danos do aquecimento global, são a *utilitariana* e a *rawlsiana*. Esta última também é conhecida como função *max-min*. Fankhauser, Tol e Pearce (1997) e Pearce (2003) descrevem estas duas funções, mostrando as diferenças entre elas e as implicações que elas têm sobre o cálculo do dano. Não se vai discutir aqui, essas diferenças e implicações, nem entrar no mérito de qual é a melhor função ou a pior. A breve descrição feita nos parágrafos anteriores, é suficiente para deixar claro que existem diferenças entre elas. Não se detalhará essas nuances e diferenças. Pode-se dizer que há defensores e críticos para cada uma das FBS e que não há consenso acerca de qual delas deve ser adotada nos estudos que envolvam a mudança do clima (PEARCE, 2003, p.376). Para o que desejamos fazer neste capítulo, que é mostrar o desenvolvimento teórico de como chegamos à fórmula da ponderação, trabalharemos com a função de bem-estar social *utilitariana*⁵², que é definida por meio da equação (2):

$$W = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^n u[c(t,i)] \quad (2)$$

Sendo:

$W =$	Função de bem-estar social utilitariana
$\sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^n u[c(t,i)] =$	Somatória das utilidades do consumo dos indivíduos i , no ponto t do tempo
$n(t) =$	Número de indivíduos num dado ponto t do tempo
$T =$	Intervalo de tempo considerado

⁵² Deve ficar claro que as FBS tem influência direta no cálculo dos danos provenientes do aquecimento global. O cálculo realizado, utilizando uma função *rawlsiana*, deve ser diferente do cálculo com uma função *utilitariana*.

A equação (2) já leva em consideração que haverá fluxos de consumo ao longo do tempo. Dessa forma, ela deve ser entendida como capaz de somar as utilidades dos indivíduos, num dado ponto futuro do tempo, que poderia ser, por exemplo, o momento em que a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera se duplica, em relação aos níveis pré-industriais ($2xCO_2$).

3.3 Variações no nível de bem-estar

Para obtermos o bem-estar marginal do consumo ΔW , devemos diferenciar a função de bem-estar (2), em relação ao consumo. A indicação dessa derivação pode ser observada em (3). O resultado da derivação em si pode ser visto em (4)⁵³:

$$\Delta W = \frac{\partial W}{\partial C(t,i)} \quad (3)$$

$$\frac{\partial W}{\partial C(t,i)} = c(t,i)^{-\eta} \quad (4)$$

Onde:

$\Delta W =$	Bem-estar marginal do consumo
$\frac{\partial W}{\partial C(t,i)} =$	Derivada do bem-estar, do indivíduo i , em relação ao consumo, num dado momento t

Como observam Anthoff, Hepburn e Tol (2006, p.8-9), a emissão de uma partícula de gás de efeito estufa hoje, se manifestará na forma de perda de consumo, em cada ponto do futuro, durante a permanência do gás na atmosfera. O consumo será, dessa forma, afetado pela

⁵³ Os passos dessa derivação são:

$$\frac{\partial W}{\partial C(t,i)} = U[c(t,i)] = \frac{c^{1-\eta}}{1-\eta} = \frac{(1-\eta)c(t,i)^{(1-\eta)-1}}{(1-\eta)} = c(t,i)^{-\eta}$$

quantidade de emissões ou pela forma em que essas emissões evoluam⁵⁴. Dizemos, então, que o consumo vai depender do padrão de emissões ao longo do tempo. Essa relação é mostrada pela equação (5).

A equação (5) mostra que o consumo no futuro, num dado ponto s do tempo, está condicionado à quantidade de emissões feitas num momento anterior do tempo, digamos no ponto v , que é anterior a s . Seria como dizer que o consumo será afetado no ano 2100 dado o perfil de emissões em 2008 ou a partir desse ponto.

$$C[s, j, E(v)] \tag{5}$$

Em (5) o termo $E(v)$ é a emissão do gás estufa no tempo v , anterior ao tempo s . O termo C é o consumo do indivíduo j , no momento s do tempo, posterior a v , dado o cenário ou padrão de emissões E .

Se obtemos um determinado nível de satisfação ou utilidade ao consumir e , ao mesmo tempo, a emissão de uma unidade adicional de um dado gás de efeito estufa reduz essa satisfação no futuro, concluímos que essa redução é o dano marginal provocado pela emissão. Essa relação é representada pela equação (6):

⁵⁴ A maioria dos autores usa o termo *cenário de emissões* para designar esse padrão de emissões. Anthoff, Hepburn e Tol (2006, p.8) mencionam o termo “*emission path*”. O termo cenário de emissões é cunhado pelo IPCC em suas publicações. Esses cenários indicam a intensidade das emissões, segundo um modelo desenvolvimento que se espera para os países ou para o mundo. Esses cenários permitem estabelecer os níveis de emissões em função do crescimento da população e do nível de desenvolvimento. Isso porque, dependendo do padrão de desenvolvimento, o consumo de energia poderá ser moderado ou mais intenso. Por exemplo, espera-se, que países em desenvolvimento passem por momentos em que a demanda por energia será maior. À medida que os padrões de vida nesses países melhoram, as populações deixam as regiões rurais, com menor conforto, migrando para as cidades e aglomerados urbanos, adotando estilos de vida mais demandantes de energia; uso de aparelhos eletrodomésticos, aparelhos de ar-condicionado, etc. Todos esses equipamentos funcionam a base de energia elétrica. Para atender a demanda é necessário investir em geração de energia. As formas mais comuns de geração são baseadas na queima de combustíveis fósseis, que geram mais emissões e resultam num determinado “*emission path*”.

$$D(t,i,r) = \frac{\partial C[s, j, E(v)]}{\partial E(r)} \Big|_{s=t, j=i} \quad (6)$$

A leitura que se faz de (6) é a seguinte: o dano causado para o indivíduo i , no momento t a partir da emissão feita num momento anterior r , é a derivada do consumo pela emissão adicional de gases de efeito estufa, representado pela derivada $\partial E(r)$. Assim, poderíamos entender $D(t,i,r)$ como o dano causado pela emissão de unidades adicionais de gases de efeito estufa. Esse dano, medido no momento s , é impactado pelos gases emitidos no momento r , anterior a $t=s$.

Da mesma maneira que o dano marginal depende do nível de emissões, também a utilidade dependerá dessas emissões. Assim, podemos reescrever (4) de forma a refletir essa relação da utilidade versus emissões. A equação (7) reflete esse raciocínio. Nela se inclui a dependência da função aos níveis de emissão:

$$\Delta W = \frac{\partial W}{\partial C(t,i)} = c(t,i,E)^{-\eta} \quad (7)$$

Azar e Sterner (1996, p.178-179) ao formalizarem os passos para o cálculo da ponderação, estabelecem que para se calcular variações no bem-estar, à partir de mudanças nas emissões, basta fazer a simples multiplicação do dano marginal (6) pelo bem-estar marginal social (7). O resultado dessa multiplicação pode ser observado em (8) em que, para aproveitamento futuro, mantenho (6) na sua forma simplificada, sem mostrar a derivada do consumo pelas emissões⁵⁵:

⁵⁵ A equação (8) é a mesma deduzida por Anthoff, Hepburn e Tol (2006, p.9). Ela representa a fórmula utilizada para cálculo de variações de bem-estar, para mudanças não-marginais nas emissões. O trabalho de Anthoff, Hepburn e Tol (2006), assim como o de Azar e Sterner (1996), incluem os passos e as fórmulas resultantes para o cálculo em que as mudanças são marginais. Optamos pela apresentação apenas da equação não-marginal, pois ela nos permitirá, mais adiante, mostrar de maneira simplificada e didática exemplos de cálculos de ponderação. O leitor poderá encontrar, no trabalho dos autores mencionados, a fórmula deduzida para cálculos quando as emissões são marginais. Além disso, no trabalho original desses autores, a equação (8) inclui o fator de descontagem, que trataremos no capítulo 4 desse trabalho.

$$V(r) = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) C(t,i,E)^{-\eta} \quad (8)$$

Onde:

$V(r) =$	Variação total do bem-estar (perda ou ganho)
$D(t,i,r) =$	Dano causado pelas emissões ao indivíduo i , num dado ponto t , afetado pelas emissões realizadas num ponto r , anterior a t
$C(t,i,E)^{-\eta}$	Utilidade do consumo do indivíduo i , num dado ponto t , afetado pelas emissões E , elevado ao coeficiente de aversão ao risco η

Naturalmente já se inclui em (8) as duas somatórias. Elas permitem fazer o cálculo para n indivíduos, nos diversos momentos t do tempo, num dado período T . Assim, por meio da equação (8) é possível calcular a variação total do bem-estar, para os n indivíduos e não apenas para um. Veremos mais adiante, que jamais os economistas conseguem realizar o cálculo de danos nesse nível de detalhamento individual. Técnicas alternativas são utilizadas, como a que comentamos no capítulo 2, de agregar e utilizar dados de regiões ou macro-regiões, já que dados em nível individual são muito difíceis de serem encontrados, seja pela indisponibilidade das informações, seja pela limitação dos modelos ou computadores, em tratar ou executar cálculos que envolvam informações de milhões ou bilhões de pessoas, em resolução individual.

É importante dizer que a equação (8) calcula variações no nível de bem-estar na forma de utilidades, ou seja, a unidade é o *útil*. Isso não ajuda muito se quisermos comparar algum tipo de numerário, que em nosso trabalho definimos como equivalentes de consumo. Na seção seguinte concentraremos nossa atenção no processo de transformação das utilidades em equivalentes de consumo.

3.4 Normalização

A conversão das variações de bem-estar, dada em *utils* na equação (8), para unidades em equivalentes de consumo, pode ser conseguida por meio de um procedimento chamado normalização. Ele consiste na divisão da mudança de bem-estar total $V(r)$ pelo ganho/perda de bem-estar da renda, na forma de utilidade de consumo. A maior parte dos autores faz esse procedimento dividindo (8) pela utilidade média do consumo (ANTHOFF, NICHOLLS e TOL, 2007; FANKHAUSER, TOL e PEARCE, 1997)⁵⁶, do conjunto de indivíduos da amostra. Geralmente essa utilidade média é dada na forma de algum numerário ou equivalente de consumo.

Para garantir simplicidade vamos usar a mesma nomenclatura utilizada até o momento. Sabemos que em (8), a utilidade do consumo de um determinado indivíduo i , num determinado ponto do tempo t , devido às emissões de gases de efeito estufa E , é dada pela expressão (9) abaixo:

$$C(t, i, E)^{-\eta} \tag{9}$$

Dado que (9) é a utilidade do consumo de um determinado indivíduo i , num determinado momento t , no futuro, podemos dizer que o ganho de bem-estar médio do consumo poderia ser representado por meio da equação (10). A diferença é que (10) reflete o consumo médio *per capita* e não individual:

$$C(t, m, E)^{-\eta} \tag{10}$$

⁵⁶ Fankhauser, Tol e Pearce (1997) mencionam que a utilidade do consumo deve ser dividida pelo ganho marginal de uma dada renda. Os autores não mencionam consumo médio. Na seqüência do trabalho, quando for exemplificado o efeito da ponderação, faremos essa mudança de nomenclatura: de consumo médio para renda média. Continuaremos a mencionar consumo para manter coerência com a demonstração feita até o momento.

Então, para aplicar a normalização, fazemos a razão da equação (8) pela (10), que resulta em (11). Esta pode ser reescrita, resultando na equação (12), que é a fórmula de ponderação, normalmente apresentada na literatura.

$$V_x(r) = \frac{\sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) C(t,i,E)^{-\eta}}{C(t,m,E)^{-\eta}} \quad (11)$$

$$V_x(r) = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^{\eta} \quad (12)$$

Onde:

$V_x(r) =$	Varição total do bem-estar (perda ou ganho) num intervalo de tempo r , em equivalentes de consumo ou simplesmente equação do dano ponderado
$C(t,m,E) =$	Utilidade média do consumo <i>per capita</i>
$C(t,i,E) =$	Utilidade do consumo do indivíduo i

A grande vantagem da equação (12) é que ela permite o cálculo da perda de bem-estar em unidades, na forma de algum tipo de numerário ou equivalentes de consumo. Podemos traduzir (12) como a equação que mede as variações no bem-estar geral, por meio da somatória dos níveis de bem-estar dos indivíduos i , em cada momento t , até o momento r , sendo a diferença entre r e t , o intervalo total T em que se avaliam os danos.

Além disso, a relação $\left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]$ é o que chamamos de ponderação ou fator de ponderação. O numerador dessa relação é a utilidade média, proporcionada pelo consumo, enquanto que o denominador é a utilidade individual.

3.5 Efeitos da ponderação

O raciocínio que construímos até chegarmos à equação (12) foi feito para demonstrarmos a fórmula de ponderação que aparece na maior parte dos estudos econômicos sobre os danos da mudança do clima. A aplicação da técnica de ponderação começará a fazer sentido na seção seguinte, quando for demonstrado um exemplo numérico de cálculo. Antes de fazê-lo, é preciso lembrar que o raciocínio e as passagens que levaram a equação da ponderação, partiram da idéia de se medir a utilidade individual, de cada pessoa. Depois, essas utilidades individuais são agregadas por meio de funções de bem-estar social. Mas como traduzir isso para os modelos de cálculo, sabendo que não se dispõe de dados em nível tão individualizado?

Tanto Anthoff (2004, p.23-24) como Anthoff, Hepburn e Tol (2006, p.12) esclarecem que nenhum modelo atual trabalha com dados que tenha uma resolução individual. Os modelos não calculam utilidade e bem-estar de indivíduos, mas de regiões ou países. Os cálculos são realizados considerando não o indivíduo i , mas os países ou a macro-regiões i . Essas regiões são agrupadas de uma maneira tal que se incluam todos os países/regiões de forma que possam representar o mundo, permitindo, assim, um cálculo global dos danos. Fica muito mais fácil para os economistas e cientistas obterem dados e realizarem cálculos dessa maneira do que em resolução individual, já que grande parte dos países dispõe de números nacionais sobre renda e consumo *per capita*.

A teoria da utilidade e do bem-estar, fundamentada em níveis de resolução individual, são, então, adaptadas para utilizar dados com resolução maior. A maioria dos MAI funciona e calcula os danos dessa forma, por meio dessa simplificação⁵⁷. Mas quando fazemos isso, surge o seguinte questionamento: qual deve ser o consumo ou utilidade do consumo que devemos utilizar na ponderação?

⁵⁷ Ver seção 2.5 que apresenta a descrição das regiões do modelo FUND. Esse modelo divide o mundo em 15 regiões.

Saindo um pouco da subjetividade vamos retornar ao exemplo dado por Pearce (2003, p.372-373), no início desse capítulo. No exemplo, o autor dividiu o mundo em duas regiões: a rica e a pobre. Pearce informa que a estimativa de danos é de 216 bilhões de dólares para a região rica e 106 bilhões para a região pobre⁵⁸. O autor diz que esses danos ocorrerão num dado momento futuro, quando concentração de CO₂ na atmosfera dobra (2xCO₂). Outros dados informados por Pearce são as rendas: a renda *per capita* média das duas regiões é de 3.333 dólares, a renda *per capita* da região rica é de 10.000 dólares e a da região pobre de 1.110 dólares. Por fim, o autor informa variados valores para o coeficiente de aversão ao risco η . Aqui adotaremos $\eta=1$. Em posse de todas as informações, podemos então, aplicá-las à equação (12), para encontrar o dano ponderado pela renda. Os passos de cálculo são mostrados na figura 10.

Figura 10 – Exemplo de cálculo da ponderação, baseado em Pearce (2003) com $\eta=1$

$$\begin{aligned}
 V_x(r) &= \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^\eta = \\
 V_x(r) &= 216 \times \left[\frac{3333}{10000} \right]^1 + 106 \times \left[\frac{3333}{1110} \right]^1 = \\
 V_x(r) &= 216 \times [0,333]^1 + 106 \times [3,002]^1 = \\
 V_x(r) &= 72 + 318 = 390 \text{ bilhões}
 \end{aligned}$$

A figura 10 mostra o somatório das variações de bem-estar, da região rica e da região pobre, dado que os 216 e 106 bilhões de dólares representam os danos que ocorrem no futuro, no momento em que as emissões de CO₂ na atmosfera dobram. A ponderação é feita ao se dividir a renda média atual pela renda das respectivas regiões (valores indicados por colchetes). Veja que a figura 10 utiliza a equação (12). Nela o fator $C(t,m,E)$ agora representa a renda média *per capita* mundial (e não a renda média dos indivíduos) e o fator $C(t,i,E)$ representa a renda *per capita* média das regiões i , rica e pobre (e não dos indivíduos i). A tabela 9 contém um resumo do que foi deduzido na figura 10:

⁵⁸ Esses danos provavelmente foram estimados seguindo o que mostramos no capítulo 2.

Tabela 9 – Efeito da ponderação sobre o dano com $\eta=1$

Região	Dano sem ponderação (bi USD)	Renda per capita (USD)	Renda média (USD)	Fator de ponderação	Dano com ponderação (bi USD)	Aumento do dano após a ponderação (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=[(4)/(3)] ^{η}	(6)=(2)*(5)	(7)=(6)/(2)-1
Rica	216	10.000	3.333	0,333	72	-67%
Pobre	106	1.110	3.333	3,003	318	200%
Total	322				390	21%

Fonte: Pearce (2003)

Notas: Os dados das colunas (2), (3) e (4) foram tirados de Pearce (2003). Demais colunas e cálculos foram feitos pelo autor. Neste exemplo de cálculo, $\eta=1$

Podemos ver por meio da tabela 9, que o dano para a região rica cai de 216 para 72 bilhões, quando a ponderação é aplicada. O dano para a região pobre salta de 106 para 318 bilhões. O dano total sem ponderação é de 322 bilhões. Após a ponderação, ele sobe para 390 bilhões. É possível constatar que o dano para os pobres aumenta em 200%, enquanto que o dano total aumenta em 21%.

Ao nos depararmos com cálculos de danos, causados pelo aquecimento global, seria importante raciocinarmos com base nessa idéia de ponderação. Isso permitirá expressar os valores do dano em termos de um equivalente de consumo daquela região ou país, considerando não somente o dano absoluto, mas o dano comparado à renda da região. Conforme falamos no início deste capítulo, o peso de um dano, quando ponderado pela renda, indica um fardo muito maior para aqueles que possuem renda menor. A perda de bem-estar será maior para os que têm menor renda, já que comprometerão maior parte dos seus recursos para suportar os danos econômicos do aquecimento global.

Não se vai aqui entrar na discussão a respeito do coeficiente de aversão ao risco η . No capítulo seguinte esse parâmetro será abordado. Entretanto, a título de constatação da sensibilidade que ele exerce no cálculo do dano, repete-se a tabela anterior, mas adota-se $\eta=1.2$ ao invés de $\eta=1$. Percebe-se que o dano para os pobres, assim como dano o total, aumenta sensivelmente. Se para $\eta=1$, os danos para a região pobre aumentava cerca de 200%, de 106 para 318 bilhões, quando η é ajustado para 1.2, o dano aumenta em 274%. Os resultados são mostrados na figura 11.

Figura 11 – Exemplo de cálculo da ponderação, baseado em Pearce (2003), com $\eta=1.2$

$$\begin{aligned}
 V_x(r) &= \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^\eta = \\
 V_x(r) &= 216 \times \left[\frac{3333}{10000} \right]^{1.2} + 106 \times \left[\frac{3333}{1110} \right]^{1.2} = \\
 V_x(r) &= 216 \times [0,333]^{1.2} + 106 \times [3,002]^{1.2} = \\
 V_x(r) &= 216 \times [0,267] + 106 \times [3,741] = \\
 V_x(r) &= 58 + 396 = 454 \text{ bilhões}
 \end{aligned}$$

A tabela 10 contém um resumo do que foi deduzido na figura 11. Ela mostra que o fator de ponderação aumenta o dano global, quando $\eta=1.2$, assim como aumentam também os danos para a região de menor renda (ou mais pobre).

Tabela 10 – Efeito da ponderação sobre o dano com $\eta=1.2$

Região	Dano sem ponderação (bi USD)	Renda per capita (USD)	Renda média (USD)	Fator de ponderação	Dano com ponderação (bi USD)	Aumento do dano após a ponderação (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=[(4)/(3)] ^η	(6)=(2)*(5)	(7)=(6)/(2)-1
Rica	216	10.000	3.333	0,268	58	-73%
Pobre	106	1.110	3.333	3,741	397	274%
Total	322				454	41%

Fonte: Pearce (2003)

Notas: Os dados das colunas (2), (3) e (4) foram tirados de Pearce (2003). Demais colunas e cálculos foram feitos pelo autor. Neste exemplo de cálculo, $\eta=1.2$

É interessante notar que a *Stern Review*⁵⁹ embora seja considerada um dos mais amplos estudos feitos sobre o impacto econômico da mudança do clima, não aplicou a técnica da ponderação nos cálculos de danos. A própria *Review*, entretanto, afirma que os danos

⁵⁹ *Stern Review* é um amplo estudo de mais de 700 páginas sobre o impacto econômico da mudança do clima. Ela foi preparada pelo economista inglês Nicolas Stern, a pedido do Governo Britânico. O trabalho foi publicado no ano 2006 e recebeu o nome de *The Economics of Climate Change*, entretanto ficou conhecida pelo nome de seu autor: *Stern Review*.

aumentariam se a ponderação fosse utilizada. Tal omissão foi fortemente criticada por Anthoff, Tol e Yohe (2008).

3.6 Resultados empíricos indiretos com e sem ponderação

Nesta seção vamos mostrar alguns resultados de cálculo de danos, com e sem ponderação⁶⁰. O propósito é ratificar que a ponderação, de fato, tem o efeito de aumentar as estimativas globais dos danos para regiões mais pobres. Uma dificuldade didática que se encontra, para fazer esse tipo de análise, é que a literatura recente não mostra os danos na forma direta de equivalentes de consumo, um numerário, uma quantidade de dinheiro. Geralmente os danos são apresentados na forma de valores percentuais em relação ao produto mundial⁶¹. Por exemplo, Stern (2006, p.161) encontra um percentual global de redução do consumo *per capita* de 5%, devido aos efeitos do aquecimento global. Considerando que na ocasião da publicação deste trabalho, o produto mundial girava em torno de 48 trilhões de dólares (WORLD BANK, 2007), podemos concluir que o dano total, em equivalentes de consumo, seria de 2.4 trilhões.

O fato relevante para o que queremos exemplificar nesta seção é que quando esse valor de dano é ponderado pela renda *per capita*, o percentual do dano aumenta, como demonstramos na seção anterior. Embora Stern (2006) não tenha calculado os danos ponderados pela renda, ele confirma que se a ponderação tivesse sido aplicada ao estudo dele, os danos aumentariam de 5% para 11% do produto mundial, mais do que o dobro do dano sem ponderação (STERN, 2006, p.161; DIETZ et al., 2007, p.146).

Uma vez que normalmente não se dispõe do valor do dano, em equivalentes de consumo direto, uma forma bastante comum de se fazer essas comparações de danos ponderados versus danos não ponderados é observar o valor do custo social do carbono

⁶⁰ Esses resultados serão medidos de maneira indireta, olhando não os danos absolutos em equivalentes de consumo, mas o dano percentual e o chamado custo social do carbono (CSC).

⁶¹ Tol (1996) é uma das exceções. Neste trabalho, ele reúne os danos calculados por cinco outros autores, tanto em equivalentes de consumo, como na forma de perda percentual do produto mundial. Os valores estimados pelos cinco autores variam entre 1.4% e 1.9% de redução do produto mundial.

(CSC)⁶². O CSC é o custo de se emitir uma tonelada adicional de carbono na atmosfera, projetado num horizonte de 100 anos e depois trazido a valor presente (WATKISS, p.1, 2006). Podemos fazer uma aproximação do CSC dividindo o dano em equivalentes de consumo, pela quantidade de emissões de dióxido de carbono equivalentes (CO_{2eq})⁶³. Com isso obtemos o *CSC médio*.

Se conjecturarmos, que as emissões hoje são da ordem 40 G tCO_{2eq} e que os danos são, em equivalentes de consumo, aqueles calculados por Stern (2006), ou seja, 5% do produto sem a aplicação da ponderação e 11% com a ponderação, teríamos um CSC de 60 dólares/tCO_{2eq} e 132 dólares/tCO_{2eq}, respectivamente. O raciocínio de cálculo é demonstrado na tabela 11. Nela utilizamos os dois percentuais de danos estimados por Stern, de 5% de redução do produto, sem ponderação, e de 11% com ponderação. Esses percentuais, multiplicados pelo produto mundial e, depois, divididos pelas emissões, resultam no *CSC médio*.

Tabela 11 – Cálculo do *custo social do carbono médio*

Produto mundial (bi USD)	Dano em relação ao produto (%)	Ponderação	Dano (bi USD)	Emissões (Gt CO _{2eq})	CSC (USD/tCO _{2eq})
(1)	(2)	(3)	(4)=(1)*(2)	(5)	(6)=(4)/(5)
48.000	5	Não	2.400	40	60,00
48.000	11	Sim	5.280	40	132,00

Nota: Elaboração do próprio autor baseado no dano percentual encontrado em Stern (2006) e do produto mundial dado em World Bank (2007)

O *CSC médio* encontrado na tabela 11, na coluna 6, é um atalho, uma simplificação⁶⁴, que empregamos para evidenciar que, com a ponderação, os danos aumentam. Se não temos o dano, na forma de equivalentes de consumo, podemos observar o CSC, já que há uma relação

⁶² Stern (2006) menciona que o custo social do carbono mede o impacto da emissão de uma tonelada adicional de carbono, num dado momento do tempo, sobre a utilidade ou nível de bem-estar, trazido ao momento presente. Uma outra analogia utilizada é a de que emitir uma tonelada adicional de carbono hoje, que custa, digamos 20 dólares, tem o mesmo impacto para a sociedade de reduzir esses 20 dólares do consumo (DIETZ, 2007, p.153).

⁶³ Essa metodologia resulta no dano médio ou *CSC médio*, que não é exatamente o CSC como encontramos descrito na literatura. Utilizaremos essa simplificação por motivos didáticos. Para uma discussão mais detalhada sobre os passos para o cálculo do CSC convencional, ver Watkiss (2006), Azar e Sterner (1996), Clarksson e Deyes (2002) e Anthoff, Tol e Yohe (2008).

⁶⁴ Não se deve considerar que os cálculos da tabela 11 indicam que o CSC estimado por Stern é igual ao valor que encontramos, de 60 USD/tCO₂. O próprio Stern (2006, p.344) confirma que o CSC, sem ponderação, encontrado em seu estudo é de 85 USD/tCO₂. O cálculo que se fez, como previamente informado, é uma simplificação, um valor médio aproximado e não o CSC convencional, que foi o que calculou Stern (2006).

de proporcionalidade direta entre o dano e o CSC (médio ou convencional). Isso significa que, mantidas as emissões constantes, se o *CSC médio* aumentou com a ponderação, significa que os dados também aumentaram. Isso porque o *CSC médio* foi calculado pela razão do dano pelas emissões, conforme é visto nas colunas 4 e 6 da tabela 11.

Embora estejamos utilizando o *CSC médio*, essa relação de proporcionalidade se mantém no cálculo do CSC convencional⁶⁵. Dessa forma, se não possuímos o dano direto na forma de equivalentes de consumo, podemos olhar para o CSC sem ponderação e com ponderação e inferir o que ocorreu com o dano: se com a ponderação o CSC aumentou, o dano também deve ter aumentando. Se por outro lado, com ponderação o CSC diminuiu, o dano deve ter diminuído. A tabela 12, reproduzida a partir de Tol (2005, p.2068-2069), reúne vários estudos em que o CSC convencional foi calculado, com e sem ponderação. Ela mostra essa sensibilidade do CSC quando a ponderação é aplicada. Indiretamente podemos concluir que, dada essa relação de proporcionalidade dano-CSC, se o CSC aumenta o dano também deve ter aumentado.

Tabela 12 – Custo social do carbono com e sem ponderação (convencional)

Estudo	CSC sem ponderação (USD/tC) ^a	CSC com ponderação (USD/tC) ^a	Taxa de desconto (%) ^b	Varição após a ponderação (%)	Horizonte de tempo (anos) ^c
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=[1-(3)/(2)]	(6)
Azar e Sterner (1996)	32,0	95,0	1,0	197	2300
	13,0	39,0	3,0	200	2300
Tol (2002a,b)	3,8	6,6	1,0	74	2150
	-6,6	-0,5	3,0	-92	2150
Tol e Downing (2000)	3,5	26,1	1,0	646	2100
	5,1	45,8	1,0	798	2100
Tol (1999)	142,0	317,0	0,0	123	2100
	73,0	171,0	1,0	134	2100
	23,0	60,0	3,0	161	2100
	9,0	26,0	5,0	189	2100

Fonte: Tol (2005, p.2068-2069). Reprodução parcial, mostrando apenas os autores reunidos por Tol que fizeram o cálculo de dano com e sem ponderação.

Notas: a. No trabalho de Tol (2005) o custo social do carbono (CSC) foi dado em USD/tC. Para converter para USD/CO₂eq é necessário fazer a multiplicação pelo fator 3.67

b. Taxa de desconto aplicada ao estudo. Normalmente tem o efeito de diminuir o dano, por isso os autores fizeram cálculos com diferentes taxas de desconto. Esse parâmetro será tratado no capítulo 4 deste trabalho.

c. Horizonte de tempo é o intervalo de tempo do estudo. Essa coluna mostra o efeito das emissões até o ano indicado.

⁶⁵ Ver notas 63 e 64.

Os estudos da tabela 12 foram realizados com diferentes taxas de desconto (ver coluna quatro, em destaque). Por isso há mais de uma linha por autor, na tabela. Cada linha e seu correspondente CSC foi calculado com uma taxa de desconto distinta. As taxas de desconto influenciam o resultado do cálculo. Em geral quanto mais alta a taxa de desconto, menor o dano e, por conseqüência, menor o CSC. Veremos isso no capítulo 4. Para o caso da ponderação, que é o que nos interessa no momento, chamamos atenção para a coluna cinco da tabela 12. Ela mostra a variação do CSC quando a ponderação foi aplicada nos estudos dos autores relacionados (quanto o CSC aumentou por causa do uso do procedimento da ponderação). Observando as variações no CSC é possível inferir que o dano também sofreu variações. Essa é uma forma indireta de medir o efeito da ponderação sobre o dano global; observando se ele afetou o CSC. Se sim, o dano também variou.

3.7 Comentários finais

O desenvolvimento teórico e alguns resultados empíricos apresentados neste capítulo indicam que a ponderação tem a capacidade de aumentar o dano do aquecimento global para as regiões ou grupos de menor renda. A ponderação é um procedimento utilizado para corrigir o dano com base na renda *per capita* das regiões ou grupos de renda. Os primeiros cálculos de danos não levavam em consideração esse tipo de procedimento, o que gerou críticas e um subsequente avanço nos cálculos, trazendo novos valores revisados (PEARCE, 2003, p.372). Os primeiros estudos, sem ponderação, devem ter levado à subestimação dos danos do aquecimento global.

A ponderação baseia-se no uso de funções de utilidade e funções de bem-estar social, sendo seus resultados sensíveis a escolha dessas funções. Os exemplos apresentados nesse capítulo basearam-se em funções do tipo utilitarianas, sendo que os resultados apresentados podem mostrar variações quando outras funções forem empregadas.

Pearce (2003) e Stern (2006) mostram que quando a ponderação é aplicada, o montante global de danos aumenta, com maior fardo caindo sobre as regiões e/ou populações de menor renda (PEARCE, 2003). Indiretamente é possível constatar o efeito da ponderação, observando as variações no custo social do carbono (CSC) convencional. Alguns autores, indicados em Tol (2005), por exemplo, constataram aumento de até 800% quando a ponderação foi aplicada ao CSC. Como o CSC se relaciona de maneira diretamente proporcional ao dano, é possível inferir por meio do CSC que o dano do aquecimento global, na forma de equivalentes de consumo, também deve ter aumentado, após a aplicação da ponderação.

Nosso trabalho defende a idéia de que a ponderação deve ser aplicada sobre as estimativas de danos, independente das funções de utilidade e de bem-estar utilizadas, uma vez que, se não aplicada, poderá impor maior fardo, na forma de perda de consumo e bem-estar para as regiões ou grupos de menor renda. Além de subestimar o dano global, causado pelo aquecimento global.

4. TAXA DE DESCONTO NO CONTEXTO DA MUDANÇA DO CLIMA

Nos capítulos anteriores evidenciamos que as emissões de gases de efeito estufa se acumulam na atmosfera e que o aumento dessas emissões precipita o aumento da temperatura média global da Terra. Com o aumento da temperatura, vários impactos naturais ocorrem, causando danos econômicos. Esses danos podem ser expressos na forma de equivalentes de consumo (*valuation* dos danos).

A seqüência de cálculos, vista no capítulo 2, mostra como os danos naturais se traduzem em danos econômicos. Tais danos podem ser maiores ou menores, dependendo da intensidade ou velocidade em que ocorre o desenvolvimento da sociedade; crescimento da população, aumento da demanda por energia, aumento das emissões de gases devido a atividades econômicas, potencialização dos mecanismos de realimentação do clima gerado por essas emissões, etc. Os cientistas costumam fazer previsões em relação à mudança do clima, observando e simulando os chamados perfis de emissões ou cenários de desenvolvimento. Esses cenários geram ou simulam emissões de gases, num intervalo de tempo. Os modelos tentam prever quanto seria o dano econômico, ocasionado pelas emissões, num determinado momento futuro do tempo. A projeção dos danos no futuro abre caminho para a discussão das taxas de desconto, pois o dano é calculado para um ponto futuro e temos que trazê-lo ao presente para saber seu peso efetivo sobre a sociedade hoje. A forma de se fazer isso é por meio das taxas de desconto e do processo de descontagem.

4.1 Taxas de desconto

No mercado financeiro, a taxa de desconto é aplicada a bens e investimentos com o objetivo de descontar o preço dos produtos em diferentes pontos do tempo para refletir o custo de oportunidade do capital. No contexto da mudança do clima, taxas de desconto são utilizadas para descontar o efeito da riqueza, experimentado pelas gerações futuras, de forma que se consiga comparar de maneira justa o bem-estar entre a geração atual e as futuras.

Algumas questões podem ser levantadas quando falamos em descontagem: i) o que é a taxa de desconto? ii) existe apenas uma taxa de desconto? iii) qual deveria ser o seu valor? Essa última pergunta é pertinente já que taxas muito elevadas subavaliam o valor do bem ou do dano, quando trazidos a valor presente. O dano aparentemente grande, lá no futuro, quando descontado à taxas altas, praticamente se reduz a zero. Além disso, a escolha das taxas de desconto adentra em discussões éticas e morais: porque descontar o dano se as gerações futuras serão mais ricas? Não seria melhor tratar as gerações igualmente e não descontar? Vamos tentar compreender todas essas questões na seqüência dessa seção.

Existem realmente vários tipos de taxas de desconto. Nordhaus (2007, p.10-11) faz uma introdução a respeito desse tema. Ele afirma que há dois tipos de taxas: i) a do mercado financeiro e ii) a de preferência social no tempo ou taxa de desconto social (TDS).

A taxa de desconto de mercado financeiro é aplicada com o objetivo de medir o preço relativo do bem, em diferentes pontos do tempo. Ela funciona como uma taxa de juros real, que mede o retorno sobre o capital investido e reflete o custo de oportunidade que o investidor teria caso, ao invés de emprestar o dinheiro, aplicasse no mercado. A taxa de desconto de mercado é o índice adotado nos investimentos públicos e privados, que tem horizontes de tempo mais curtos, de até 30 anos.

Já a TDS vai além da idéia de atualizar os valores futuros a valores presentes. Ela não tem o objetivo único de comparar bens e equivalentes de consumo. Ela vai além: mede variações de bem-estar e tenta refletir tratamento de igualdade entre gerações. Os propósitos da TDS entram no terreno da discussão ética, moral e filosófica (NORDHAUS, 2007, p10-11; CLINE, 1992, p235-236). Do ponto de vista social, por exemplo, alguns defendem não descontar os danos, ou seja, utilizar uma taxa de juros igual a zero. Isso significaria tratar as gerações de maneira igual. Por outro, lado, sabendo que as gerações futuras têm sido sempre mais ricas que as suas equivalentes antecessoras⁶⁶, seria injusto tratá-las igualmente. As gerações que vêm antes precisariam dispor de uma parcela maior de sua renda para suportar os efeitos do aquecimento global, já que historicamente serão menos ricas.

⁶⁶ Isso se deve ao fato de que as taxas de crescimento econômico e o progresso tecnológico historicamente têm sido positivos, aumentando a riqueza da sociedade. Isso significa que as gerações seguintes têm sido mais ricas do que a gerações anteriores, embora não se possa garantir que o sejam no futuro.

Alguns autores como Cline (1992) defendem que as taxas de juros de mercado, que variam normalmente entre 5 e 10% por ano, são inapropriadas para análises de investimento de longos períodos de tempo (mais de 30 anos), como é o caso dos estudos que tratam do aquecimento global.

Cline (1992, p.237) defende que é preciso distinguir as taxas de desconto por origem da fonte de recursos e que, a princípio, o ideal seria haver vários tipos de taxas, que variassem de acordo com o tipo de projeto e origem de financiamento. Se os recursos vêm do mercado privado ou público, com propósitos de investimento, a taxa de desconto deveria ser a taxa do mercado financeiro, com algum tipo de redutor no caso de investimentos públicos. Por outro lado, se a origem do recurso é a sociedade como um todo, por exemplo, na forma de perda de consumo e de bem-estar, a taxa a ser utilizada, na visão do autor, deveria ser a taxa de desconto social (TDS). Para Cline, taxas aplicadas ao consumo tenderiam a ser mais baixas em relação àquelas aplicadas aos investimentos.

A TDS captura a idéia de descontar o futuro com um valor que seja aproximadamente a taxa de crescimento da sociedade, como veremos na seção seguinte. Dessa forma, ela não embute um lucro do capital, como normalmente seriam as taxas de juros do mercado financeiro.

Ackerman (2007, p.15-16) tem ponto de vista um tanto coincidente com o de Cline (1992). Ele diz que é um erro que as taxas de desconto devam coincidir com as taxas de juros de mercado financeiro, no contexto da mudança do clima. Para Ackerman, essa visão se apóia na idéia de que os mercados são perfeitos. Em realidade, eles não o são, o que inviabilizaria o uso de taxas de mercado para assuntos relacionados ao aquecimento global⁶⁷. Ackerman diz ainda que as taxas de juros refletem decisões de mercado de curto prazo, de pessoas que participam dos mercados financeiros hoje. O autor deixa a entender que não seria conveniente o seu uso em decisões públicas, pois elas envolvem ética intergeracional, ou seja, decisões de mais longo prazo, que ultrapassam mais do que uma geração.

⁶⁷ Essa opinião também é encontrada em Guo et al. (2006). Para esses autores numa economia ideal, onde não haja externalidades, impostos ou imperfeições de mercado, as taxas de juros de mercado, sobre os investimentos e sobre o consumo são idênticas. Entretanto, na economia real, externalidades, impostos e imperfeições existem e, por isso, os autores defendem que a taxa ideal a ser aplicada neste contexto é a taxa de desconto social. Nessa mesma linha segue Dasgupta (2007b, p.12-14). Ele também defende que em economias imperfeitas, taxas de desconto que reflitam o custo de oportunidade do capital, não devem ser utilizadas para descontar custos e benefícios futuros na forma de consumo.

Para fazer comparações de montantes ou recursos, comparando os valores nos tempos futuro e presente, se empregam as taxas de desconto ou processo de descontagem. Veremos como a descontagem é feita na seção 4.5. Deve ficar claro, nesse momento, que a taxa de desconto social é a taxa de desconto mais adequada para aplicação em estudos que calculam os danos econômicos, decorrentes do aquecimento global (CLINE, 1992; ACKERMAN, 2007). Na seção seguinte vamos entender os parâmetros internos da taxa de desconto social.

4.2 Taxa de desconto social (TDS)

A taxa de desconto social, s , é formada por duas componentes: i) uma que representa o grau de igualdade intergeracional, representado pela letra grega *delta*, δ , e ii) outra que está associado ao componente riqueza, $\eta.g$, representado pela multiplicação da letra grega *eta* e pela taxa de crescimento g . A fórmula que relaciona essas duas componentes é a chamada de equação de Ramsey, que e é mostrada em (13):

$$s = \delta + \eta.g \quad (13)$$

Sendo:

- s = Taxa de desconto social, TDS
- δ = Taxa de preferência pura no tempo
- η = Taxa de elasticidade marginal do consumo ou taxa de aversão ao risco
- g = Taxa de crescimento *per-capita* do consumo

A taxa de desconto social é derivada do trabalho precursor de Frank Ramsey (1928). Conforme Dasgupta (2004, p.3), Ramsey queria medir quanto do produto uma nação deveria poupar, pensando no futuro. Embora ele não quisesse, a princípio, medir o bem-estar intergeracional por meio da equação (13), ele acabou fornecendo as bases para a análise econômica de longo prazo, que serve de referência para a chamada economia do bem-estar e para os estudos que medem a justiça entre gerações.

O trabalho de Ramsey foi sendo aperfeiçoado por vários autores, dentre os mais importantes destaca-se Tjalling Koopmans (1965). Dasgupta (2004, p.2) inclusive reconhece

que o conceito de justiça entre gerações e o conceito de distribuição dos fardos e benefícios intergeracionais, usado pelos economistas hoje, são derivados da estrutura matemática desenvolvida por esses dois autores⁶⁸.

Dedicar-nos-emos a estudar cada um dos parâmetros que compõe a taxa de desconto social (13), na seção seguinte.

4.3 Taxa de preferência pura no tempo (δ)

A taxa de preferência pura no tempo (TPPT) é um dos parâmetros mais controversos da TDS. Ela é definida por Anthoff, Tol e Yohe (2008, p.3) como a taxa marginal de substituição entre o consumo futuro e o consumo presente. É a taxa que a sociedade está disposta a pagar para trocar o consumo presente pelo consumo futuro (LOPEZ, 2008, p.2).

Vários autores defendem a idéia de que a TPPT deva ser zero, implicando neutralidade ética entre gerações (Hepburn, 2006, p.7). Essa é uma das primeiras hipóteses que cercam a TPPT e tem relação com a idéia de imparcialidade ou justiça intergeracional. Isso porque, nesta condição, as gerações são tratadas igualmente, não se descontando nem o consumo da geração atual, nem o das gerações futuras. Um argumento contra a TPPT igual a zero é que as gerações seguintes são historicamente sempre mais ricas do que as anteriores. Logo, espera-se que a geração atual tenha que fazer um sacrifício maior caso tenha que dedicar parte da sua renda para suportar os danos do aquecimento global, dado que a sua renda é menor, comparativamente a renda das próximas gerações. Há, portanto, uma discussão ética e moral que não se limita à arena econômica.

Outra hipótese para a TPPT é aquela que a considera decomposta em dois parâmetros: um representando a taxa de desconto da utilidade sobre o consumo e outro representando a risco de extinção do ser humano ou probabilidade de não sobrevivência da raça humana no futuro. Essa é abordagem encontrada em Pearce e Ulph (1998, p.6). Anthoff et al. (2006, p.5), também se referem à TPPT como a soma de duas parcelas de desconto, uma representando a

⁶⁸ Não faz parte do escopo desse trabalho discutir o modelo de Ramsey e as evoluções que outros autores fizeram a partir de sua teoria inicial. Entretanto, para uma discussão mais detalhada sobre o tema ver Ramsey (1928) e Dasgupta (2004).

impaciência social⁶⁹ e a outra representando o risco de extinção. A equação (14) representa a TPPT e seus dois parâmetros internos:

$$\delta = \rho - L \quad (14)$$

Sendo:

δ = Taxa de preferência pura no tempo

ρ = Taxa de preferência pura ou taxa de desconto da utilidade ou de impaciência social

L = Taxa de chance de extinção ou chance de estar vivo

Isso implicaria que a equação (13) poderia ser rescrita, gerando a equação (15). Assim, a equação da Ramsey ganharia um parâmetro adicional, representando o risco de extinção, L .

$$s = \rho - L + \eta \cdot g \quad (15)$$

A taxa de chance de extinção aparece de maneira mais destacada no trabalho de Pearce e Ulph (1998). Na maior parte da literatura apenas a taxa de preferência pura no tempo, δ , vista em (13) é discutida de maneira ampla. Pearce e Ulph (1998, p.6) chamam a taxa de chance de extinção de taxa aumento ou diminuição de risco à vida (*increase or decrease in the risk of life*) ou taxa de crescimento da chance de viver (*growth of life chances*). Os autores chegam à taxa de chance de extinção baseado na taxa de mortes da população, entretanto, eles não aceitam esse argumento da simples contagem de mortes. Acreditam numa visão mais ampla, de morte de toda uma geração.

Stern (2006, p.53), em trabalho mais recente que o de Pearce e Ulph, também utiliza o conceito risco de extinção, embora não detalhe a maneira como calculou L e sequer mencione esse parâmetro diretamente no trabalho. Stern aceita a hipótese do risco futuro para a

⁶⁹ Impaciência social no sentido que as gerações preferem consumir hoje a poupar e transferir seu consumo para algum ponto do tempo no futuro. Como exemplifica Lopez (2008), os indivíduos preferem uma gratificação imediata ao invés de postergá-la, mesmo porque há sempre uma probabilidade não nula de a pessoa não estar aqui no futuro próximo para desfrutar da renda, já que existe a possibilidade de uma catástrofe natural ou catástrofe causada pelo homem.

sobrevivência da raça humana, devido um choque exógeno, que não necessariamente teria haver com o risco da mudança climática, mas com uma guerra nuclear, a queda de um meteorito ou a ocorrência de uma doença que reduziria significativamente a população. O autor menciona que trata as gerações igualmente ($\rho=0$), que a taxa de preferência pura adotada em seu estudo sobre mudança climática foi de 0.1% ($\delta=0.1$), o que permitiria deduzir, por meio de (14), o percentual de risco de extinção, L , mas ele omite explicações sobre o processo de cálculo.

É importante deixar claro que a grande maioria dos estudos utiliza (13) para o cálculo da taxa de desconto social e não a equação (15). Embora mencionada por alguns autores e indicadas nesse trabalho, (15) é pouco comentada e explorada. Parece haver a necessidade de se avançar mais nos estudos relacionados ao risco de extinção, deixando claro se realmente a simples contabilização da mortalidade L seria a forma correta e suficiente para o cálculo da TDS.

Alguns autores reconhecem a existência do risco de extinção, mas não aceitam que ele seja um parâmetro baseada na mortalidade geral da população, já que boa parte das mortes ocorre por outros fatores, que não o fator climático (PEARCE e ULPH, 1998).

4.4 Taxa de elasticidade marginal do consumo (η)

A taxa de elasticidade marginal do consumo (TEMC) mede a velocidade em que o consumo varia em função de variações na renda. Muitos autores defendem que η mede quanto a utilidade marginal do consumo é reduzida com o aumento da renda. Outros dizem que ele também mede a aversão a desigualdade.

Pearce e Ulph (1998, p.9-15) enumeram algumas abordagens para estimação do valor de η . Dentre elas os autores mencionam: i) estimativas por meio de sistemas de demanda; ii) estimativas por meio de funções de utilidade; iii) estimativas por meio de observação de comportamentos de poupança e iv) estimativas por meio exercícios de avaliação ética. Os autores descartam a utilização das duas primeiras técnicas porque acreditam haver limitações na observação de η a partir de comportamentos de consumo, baseados no uso de funções de

utilidade. Eles defendem que o consumo, em cada período, depende apenas das preferências individuais e não de uma função de utilidade particular, como é preconizado nessas teorias.

Adicionalmente Pearce e Ulph (1998 apud Stern, 1997, p.14) criticam o terceiro método, de estimar a TEMC por meio de observações do comportamento de poupança. Este é baseado na técnica de maximização da função de utilidade ao longo da vida e requer escolhas criteriosas dos parâmetros internos de modelação, com o risco de que os valores encontrados para η estejam muito acima do razoável. Os autores reconhecem, entretanto, que modelos mais recentes podem ser empregados, utilizando essa técnica, sem que haja superestimação da TEMC, de uma maneira que ela seja medida corretamente.

A estimação de η por meio de exercícios de avaliação ética ou exercícios mentais é também é demonstrada por Pearce e Ulph (1997, p.15). Esse quarto método consiste em medir o grau de desigualdade aceita pelos indivíduos. Um exemplo simples e de fácil entendimento é dado pelos autores: eles sugerem que os leitores imaginem dois lares, um deles tendo o dobro da utilidade marginal de consumo do outro, ou seja, $C_1=2 \times C_2$. A relação entre as duas utilidades marginais seria dada por (16), que utiliza uma variante da função de utilidade isoelástica, definida pelas equações (1) e (4):

$$\frac{aC_1^{-\eta}}{aC_2^{-\eta}} = 2^{-\eta} \quad (16)$$

A equação (16) diz que se transferíssemos uma unidade de equivalente de consumo do lar 1 para o lar 2, a perda para o lar 1 valeria o fator $2^{-\eta}$ do ganho para o lar 2. A tabela 13 mostra essas implicações. Se entendermos que a utilidade para o lar 2 é maior que para o lar 1, mais unidades de equivalentes de consumo deveriam ser dadas ao lar 1 para se obter o mesmo grau de satisfação do lar 2.

Tabela 13 - Relação das utilidades marginais do consumo para $C_1=2 \times C_2$

Lar 1	$\eta =$	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	5.0	10.0
Lar 2	$2^{-\eta} =$	0.7	0.6	0.5	0.35	0.25	0.03	-

Fonte: Pearce e Ulph (1998, p.15).

Notas: O trabalho original dos autores não inclui a primeira coluna.

Com base na tabela 13 e na equação (16), temos que: para a transferência de uma unidade de consumo do lar 1 para o lar 2, se $\eta=1$, a perda para o lar 1 equivaleria a metade do efeito para o lar 2. Colocado de outra maneira: o peso da unidade de consumo recebido pelo lar 2 é duas vezes maior do que seria para o lar 1. Da mesma maneira, transferir 1 unidade de consumo para o lar 2, dado que $\eta=1.5$, equivale a dizer que o lar 1 teria uma perda de 0.35 em comparação ao recebido pelo lar 2. Isso mostra a inadequação de valores altos para η , pois para $\eta=5$ o peso do valor transferido ao lar 2, visto pelo lar 1 é quase nulo (PEARCE e ULPH, 1998, p.15).

Esse exercício permite entender porque o parâmetro η mede a aversão a desigualdade. Ao se defender valores de η muito altos, implicitamente fica subentendido que se deseja manter a situação atual de distribuição de renda e, portanto, não há tanta aversão à desigualdade. No extremo oposto, para valores de η abaixo do valor unitário, há maior apelo em favor da igualdade distributiva.

Um quinto método de estimação de η é descrito por Evans (2006) e Lopez (2008). Esses autores utilizam a abordagem do valor social revelado pelos Governos. Tal método baseia-se, segundo Evans (2006, p.9), na aversão dos Governos às desigualdades da renda. Ele é implementado por meio de modelos que se utilizam de taxas de impostos marginais e impostos médios. Esse método, embora apresente certas limitações ou dificuldades (LOPEZ, 2008, p.10), pode ser modificado e pode incorporar algumas hipóteses adicionais, que permita a ele o cálculo da TEMC⁷⁰ de uma maneira mais adequada. Lopez (2008) procedeu dessa maneira, melhorando o modelo de forma a se encontrar valores de TEMC mais próximos dos relatados na literatura. O autor encontra (LOPEZ, 2008, p.11), por exemplo, valores para a TEMC variando entre 1.11 e 1.89. Nesse trabalho, ele estimou as TEMC e as TDS para nove países da América Latina. O valor médio de η que Lopez encontrou foi de 1.49.

Depois de avaliar esses cinco métodos, para estimar a TEMC, os vários autores encontraram valores de η variando entre 1 e 2. Pearce e Ulph (1989, p.14), concordam que um valor adequado para η seria algo girando entre 0.83 e 1.5, sendo 1.0 um valor defensável.

⁷⁰ Não faz parte do escopo desse trabalho detalhar a formulação matemática desse modelo. O leitor pode encontrar mais informações, inclusive os argumentos sobre as limitações e dificuldades desse método no trabalho de Lopez (2008).

Evans (2006, p.4) também defende um valor entre 1 e 2, sendo 1 o valor central mais adequado. Cline (1992) em seu trabalho precursor adotou $\eta=1.5$. Lopez estimou e encontrou um valor médio de 1.49 para η , utilizando como amostra nove países da América Latina. Alguns autores defendem valores mais altos para η . Dasgupta (2007b), por exemplo, com base na observação do comportamento de poupança, defendeu valores de η variando entre 2 e 4, mas foi contestado por Brad DeLong (2007a; 2007b), que indicou que o cálculo de Dasgupta não levava em conta o progresso tecnológico⁷¹. Parece que a maioria dos autores prefere um valor de η próximo do valor unitário, entretanto, há ainda vasto terreno para evolução nesse campo de estudo.

4.5 Taxa de crescimento do consumo *per capita* (g)

O último parâmetro que compõe a TDS (13) é a taxa de crescimento do consumo *per capita* (TCCP). Ela está diretamente associada com a elasticidade marginal do consumo e pode ser estimada por meio da média histórica do crescimento de consumo.

Pearce e Ulph (1989, p.15) recomendam estimar a taxa g levando-se em consideração grandes períodos de observação. Os autores, por exemplo, calculam a taxa de crescimento médio do consumo para o Reino Unido para dois períodos: o primeiro deles, mais longo, entre 1885 e 1985 e o segundo mais curto, entre 1951 e 1985. Eles encontram taxas de consumo entre 1.3% e 2.2%, respectivamente. Esses dois valores mostram a sensibilidade de g à escolha do intervalo ou período de estimação.

Se, como no exemplo de Pearce e Ulph (1989), optar-se pelo cálculo que inclua o consumo *per capita* de períodos mais longos, com uma TCCP mais baixa, obter-se-à uma TDS, baseada na equação (13), também mais baixa. Isso ocorre devido à relação de proporcionalidade entre a TCCP e a TDS. Da mesma forma, se a opção for por taxas de

⁷¹ Nesta discussão, Dasgupta (2007b) defende valores mais altos para a elasticidade marginal do consumo, com base na idéia de que para $\eta=1$, a taxa de poupança resultante seria muito elevada. Dasgupta realizou seus cálculos, utilizando os parâmetros de Stern (2006).

crescimento que se estendam por períodos mais curtos e recentes, obter-se-à TCCPs mais altas e, por consequência, uma TDS também mais alta.

Lopez (2008) reforça a idéia da falta de uniformidade na escolha da TCCP e de seu intervalo. Ele calculou as TDS para nove países da América Latina, entre eles o Brasil e, em seus cálculos, ele trabalhou com um intervalo de 45 anos para estimar a TCCP – entre os anos 1961 e 2005. O autor encontrou uma taxa de crescimento média de 3.1% para sua amostra de países. Isso reforça parcialmente a idéia de que o parâmetro g pode ser mais alto ou mais baixo, dependendo do intervalo de tempo escolhido para o cálculo. Conseqüentemente, como a TCCP é diretamente proporcional à TDS, como mostra (13), teríamos impacto direto na TDS, dada a escolha de TCCP. Isso pode ser visto por meio da tabela 14, em que se reúnem as diferentes TCCP, para Pearce e Ulph (1989) e Lopez (2008). Nela definiu-se arbitrariamente $\eta=1$ e $\delta=0$ e se aplicou a equação de Ramsey (13) para os dois trabalhos, com o objetivo de se observar o efeito de diferentes TCCP na obtenção da TDS. Na tabela, a TCCP é representada pela letra g e a TDS pela letra s :

Tabela 14 – Efeito da taxa de crescimento do consumo sobre a taxa de desconto social

Estudo	Intervalo	δ (%)	η	g (%)	s (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(3)+[(4)*(5)]
Pearce e Ulph (1989)	1885-1985	0,0	1,0	1,3	1,30
Pearce e Ulph (1989)	1951-1985	0,0	1,0	2,2	2,20
Lopez (2008)	1961-2005	0,0	1,0	3,1	3,10

Fonte: Pearce e Ulph (1998, p.15) e Lopez (2008)

Nota: Elaborada pelo autor com base nos valores de g encontrados em Pearce e Ulph (1998) e Lopez (2008).

A tabela 14 mostra claramente que a taxa de desconto s , pode ser afetada pelo intervalo escolhido para o cálculo da TCCP média do período, entretanto, não há consenso de qual seria o período recomendado para a estimação de g ; 20, 50, 100 anos. Uma uniformização permitiria comparar as estimativas de danos, já que se estabeleceria o mesmo intervalo com menor impacto sobre a TDS.

4.6 Descontagem e sensibilidade do dano devido à taxa de desconto

Nesta seção mostrar-se-à exemplos da sensibilidade do montante do dano em relação à taxa de desconto. Começaremos com um exemplo bem simples para mostrar como é operacionalizado o processo de descontagem.

Imagine que eu empresto \$ 100 para meu irmão hoje e que ele me devolve o montante daqui a um ano pagando uma taxa de juros de mercado que é, digamos, de 10%. O valor que ele me devolve é de \$ 110. Isso significa que os meus \$ 110 daqui a um ano valem \$ 100 hoje. Essa diferença de \$ 10 corresponde à taxa de juros ou ao custo de oportunidade que eu cobro pelo uso do meu dinheiro. De outra forma, se eu não emprestasse ao meu irmão eu poderia aplicar os meus \$ 100 e esperar ter esses \$ 10 por meio do mercado financeiro. Assim, os \$10 que cobro do meu irmão correspondem à possibilidade que tenho de conseguir os mesmos \$10 no mercado. É o preço que eu cobro do meu irmão por ele “usar” o meu dinheiro. É o valor que eu cobro por emprestar o dinheiro a ele e por eu perder a oportunidade de empregar esse valor em outro tipo de investimento.

Agora vamos mudar um pouco a forma de raciocínio: não estamos mais no ano 2008, ano em que estamos escrevendo esse exemplo, mas no ano 2009. Em 2009 eu tenho \$ 110 e quero saber quanto valia esse montante no ano anterior. A forma de se descobrir isso é fazer a chamada descontagem. Para isso, dividimos o montante atual por um, mais a taxa de desconto elevada pelo período em questão. A equação (17) representa esse raciocínio.

$$V_D = \frac{V_M}{(1+i)^n} \quad (17)$$

Sendo:

$V_D =$	Valor descontado do montante
$V_M =$	Valor atual do montante
$i =$	Taxa de juros ou de desconto
$n =$	Número de anos entre um e outro período

No nosso exemplo, então, o valor descontado V_D é igual ao valor atual do montante, de \$ 110 sobre um mais a taxa de desconto de 10%, elevado pelo número de anos que compreende o período, que no exemplo é igual a 1. O resultado dessa operação é os \$ 100 originais, conforme indica a seqüência de passos detalhada na figura 12 abaixo:

Figura 12 – Exemplo de cálculo da descontagem

$$\begin{aligned}
 V_D &= \frac{V_M}{(1+i)^n} = \\
 V_D &= \frac{110}{(1+0,10)^1} = \\
 V_D &= \frac{110}{1,10} = \\
 V_D &= 100
 \end{aligned}$$

Esse exemplo simplificado foi propositalmente apresentado, pois ele se correlaciona com o que discutimos no capítulo 2. Lá mostramos como o dano, na forma de equivalentes de consumo, é calculado para um dado ponto no futuro – ano em que a concentração de CO₂ tem o seu valor duplicado na atmosfera, em relação aos níveis pré-industriais (2xCO₂). Para saber o valor que esse dano representa no presente, podemos aplicar a descontagem.

Digamos que estamos no ano 2008, que a condição 2xCO₂ ocorre no ano 2030, que o montante previamente calculado do dano é o valor ponderado da tabela 11, de \$ 5.28 trilhões⁷², e que a taxa de desconto é a agora a conhecida TDS, que no exemplo é de 10%. Nessas condições e utilizando (17), o valor descontado ou valor presente do dano no ano 2008 é de \$ 648 bilhões, conforme a demonstração encontrada na figura 13 abaixo:

⁷² Esse é o valor deduzido por nós no capítulo 3 e indicado na tabela 11. Este valor foi calculado à partir da perda percentual de dano, indicado no trabalho original de Stern (2006). É importante lembrar, entretanto, que Stern já deve ter feito a descontagem em seu trabalho, quando encontrou o dano percentual ponderado de 11% do produto mundial. Utilizar-se-à o valor da tabela 11 apenas como exemplo, para demonstrar o processo de descontagem.

Figura 13 – Efeito da taxa de desconto a 10% ao ano até 2030

$$V_D = \frac{V_M}{(1+s)^n} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1+0.10)^{2030-2008}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1.10)^{22}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{8.14} =$$

$$V_D = 648 \text{ bilhões}$$

Se repetirmos o cálculo utilizando os mesmo valores, mudando somente a taxa de desconto, reduzindo a de 10% para 2%, o resultado descontado do dano se elevaria para \$ 3.41 trilhões, conforme é demonstrado na figura 14:

Figura 14 – Efeito da taxa de desconto a 2% ao ano até 2030

$$V_D = \frac{V_M}{(1+s)^n} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1+0.02)^{2030-2008}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1.02)^{22}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{1.55} =$$

$$V_D = 3.41 \text{ trilhões}$$

Esse exercício mostra o quão sensível o dano pode ser no futuro, quando descontado e transformado em valores presentes, mediante a escolha da taxa de desconto. A adoção de taxas elevadas tende a subestimar o valor do dano em equivalentes de consumo. Da mesma maneira, taxas de desconto muito baixas resultarão em danos mais elevados.

Os cálculos realizados, por meio das figuras 13 e 14, mostram que a opção pela taxa de desconto de 2% ao invés da de 10%, aumenta o dano em mais de cinco vezes – 3.41 trilhões contra 648 bilhões. Isso significa que a taxa de desconto é um fator chave no cálculo do dano. Portanto, deve ser escolhida com critério, pois tem impacto direto sobre o montante calculado pelos modelos.

Não é a toa que a taxa de desconto é um dos temas mais controversos, quando as estimativas de danos, devido ao aquecimento global, são realizadas. Discussões recentes, bem esclarecedoras, podem ser encontradas em Nordhaus (2007), Dasgupta (2007a, 2007b) e Ackerman (2007). Os três autores se propuseram a revisar o tema das taxas de desconto, comentando o trabalho de Stern (2006). O ponto de discussão girou em torno da taxa de desconto social adotada pelo último autor em sua *Review*⁷³.

Uma taxa de desconto de 10%, num horizonte de 100 anos, desconta o equivalente de consumo de tal forma que, quando trazido a valor presente, o montante parece ser irrisório. Por exemplo, se recalculássemos os danos, conforme fizemos nas figuras 13 e 14, considerando o intervalo de 100 anos e a TDS de 10%, o dano se reduziria para \$ 383 milhões em valores de hoje, ou seja, apenas 0.0072% do dano original de \$ 5.28 trilhões. A demonstração do cálculo pode ser vista na figura 15.

⁷³ A *Stern Review* fez uma análise ampla das conseqüências do aquecimento global, detalhando o fenômeno, os impactos econômicos, as formas de mitigação e propondo ações urgentes para o seu combate. A justificativa dada por Stern, da necessidade de ação urgente, foi a conclusão do estudo, que estimou que o dano seria de 5% do produto mundial, mas poderia ir além dos 20% caso outros impactos, tais como os *não-mercado*, os impactos *socialmente condicionados*, os impactos devido a fenômenos extremos do clima e a ponderação, fossem incluídos na estimativa. Esse percentual de 20%, por diferir muito dos estudos realizados até então, criou ceticismo. Um dos pontos cruciais do trabalho foi a escolha da taxa de desconto social muito baixa, em comparação à de outros estudos. Stern adotou uma taxa de 1.4%.

Figura 15 - Efeito da taxa de desconto a 10% ao ano em 100 anos

$$V_D = \frac{V_M}{(1+s)^n} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1+0.10)^{2108-2008}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1.10)^{100}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{13780} =$$

$$V_D = 383 \text{ milhões}$$

Uma taxa de desconto alta tende a diminuir os danos, conforme vemos na figura 15. Entretanto, uma taxa de desconto baixa tende a manter o dano mais próximo do dano original. Isso é demonstrado na figura 16. Nela adotamos uma taxa de desconto de 0.1% ao ano. O dano cai de 5.28 trilhões para 4.77 trilhões. Uma queda de apenas 9.5% no período de 100 anos.

Figura 16 - Efeito da taxa de desconto a 0.1% ao ano em 100 anos

$$V_D = \frac{V_M}{(1+s)^n} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1+0.001)^{2108-2008}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{(1.001)^{100}} =$$

$$V_D = \frac{5.28}{1.105} =$$

$$V_D = 4.77 \text{ trilhões}$$

A tabela 15 mostra um resumo do efeito da taxa de desconto sobre o montante do dano. Ela é baseada nos cálculos das figuras 15 e 16. Quando a taxa de desconto é de 10%, num intervalo de 100 anos, o valor original do dano se reduz em 99.993%. Ou seja, o valor do

dano cai de 5.28 trilhões para apenas 383 milhões de dólares, em valores presentes. Da mesma forma, quando a taxa de desconto é de 0.1%, para o mesmo intervalo de 100 anos, a redução do montante do dano, em relação ao valor original, é de apenas 9.51%.

Tabela 15 – Efeito da taxa de desconto sobre o dano

Dano original (bi \$)	Taxa de desconto (%)	Período (anos)	Valor presente do dano em 2008 (bi \$)	Redução do dano devido à taxa de desconto (%)
(1)	(2)	(3)	(4)=(1)/[1+(2)]^(3)	(5)=1-[(4)/(1)]
5.280	10,0	100	0,383	99,993
5.280	0,1	100	4777,78	9,51

Nota: Elaborada pelo autor para mostrar o efeito da taxa de desconto sobre o dano

Conforme mencionamos na seção 2.1, se os decisores políticos e privados utilizam a técnica da análise de custo-benefício, para a aprovação de projetos, atenção especial deve ser dada à escolha da taxa de desconto. A comparação dos custos (investimentos necessários para conter as emissões de gases de efeito estufa, por exemplo) versus os benefícios (danos evitados devido à ação adotada)⁷⁴ deve ser feita adotando-se as mesmas taxas de desconto tanto para custos como para benefícios. Além disso, é importante certificar-se de que a taxa não é demasiadamente alta ou baixa, incorrendo em subestimação ou superestimação do dano.

Um projeto analisado, usando a técnica do custo-benefício, que trate da mitigação das emissões de gases estufa, pode ser rejeitado, devido à escolha de uma taxa de desconto elevada. Isso porque, como se vê na tabela 15, taxas altas tendem a reduzir o dano. Como nesse tipo de técnica, os danos se transformam em benefícios (danos serão evitados caso seja feito o investimento no intuito de conter as emissões), a forma de se avaliar se o projeto é viável é fazer a comparação desses benefícios com o investimento (teste do custo-benefício).

⁷⁴ Na análise de custo-benefício, os danos se transformam em benefícios (danos evitados). Isso acontece porque, ações serão tomadas hoje para evitar que tais danos ocorram no futuro. Os investimentos necessários para evitar esses danos, não são levantados nesse trabalho, mas se referem aos recursos que a sociedade deverá dispor para conter as emissões e os impactos do clima. Assim, numa análise de custo-benefício, os investimentos são os custos para a sociedade ao investir em mitigação. Os danos futuros são os benefícios, pois serão evitados caso os investimentos sejam feitos. A comparação dos investimentos versus benefícios permite dizer se o projeto é viável. Quando os custos (investimentos) são maiores que os benefícios, dentro do horizonte de tempo em análise, o projeto é considerado inviável. Quando os benefícios são maiores que os custos, o projeto é viável.

Assim, no exemplo da tabela 15, para uma taxa de desconto de 10%, os benefícios seriam, então, de 383 milhões, enquanto que para uma taxa de 0.1%, eles seriam de 4.77 trilhões. Se, hipoteticamente, o investimento para mitigar as emissões fosse de 1 trilhão, os decisores políticos aprovariam o projeto se a TDS fosse de 0.1% (benefício supera o investimento), mas o recusariam se ela fosse de 10% (benefício abaixo do investimento).

Há ainda uma discussão ética por trás da escolha da taxa de desconto: quais as implicações para as gerações futuras e para a sociedade ao não se adotar a redução das emissões? Uma taxa de desconto alta colocará menos peso no dano que ocorrerá no futuro. Se o dano é pequeno devido à descontagem alta, investimentos em corte de emissões não serão feitos, já que o benefício se apresenta menor que o investimento. Assim, uma taxa alta favorecerá as emissões ou pelo menos manterá a situação de emissões. Isso significaria menos esforços no presente para mitigar os danos do aquecimento global que ocorrerão no futuro. O resultado prático disso é que a elevação da temperatura continuará sua escalada e novos danos ocorrerão no futuro, penalizando as próximas gerações. O contraponto a esse argumento é que as gerações futuras seriam mais ricas, dado o progresso tecnológico e o crescimento econômico. Dada essa constatação, não seria justo que a geração atual empreendesse recursos menores, quando ponderado pela renda presente, em favor das gerações futuras, mais ricas.

4.7 Discussão recente sobre as taxas de desconto

O trabalho recente de Stern (2006) serviu para levantar dúvidas sobre vários aspectos que envolvem o cálculo de danos, provenientes do aquecimento global. Talvez sua maior contribuição tenha sido criar um maior foco sobre as taxas de desconto, assim como sobre seus parâmetros internos: a taxa pura no tempo δ , a taxa de elasticidade marginal do consumo η e a taxa de crescimento *per capita* g . Tal discussão reforçou a idéia que a taxa de desconto que deve ser utilizada, com o propósito de descontar os danos do aquecimento global, é a TDS e não a taxa do mercado financeiro.

Dasgupta (2007b, p.12-13), por exemplo, mostra os diferentes parâmetros adotados por alguns autores, quando da estimação da TDS. Com base nos parâmetros da equação de

Ramsey (13), ele calculou a TDS para esses vários autores. Os dados são reunidos na tabela 16, em que a TDS é representada pela letra s .

Tabela 16 - Parâmetros internos da taxa de desconto em Dasgupta (2007b)

Estudo	δ (%)	η	g (%)	s (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)+[(3)*(4)]
Cline (1992)	0,0	1,5	1,3	1,95
Nordhaus (1994)	3,0	1,0	1,3	4,30
Stern (2006)	0,1	1,0	1,3	1,40

Fonte: Dasgupta (2007b, p.12-13)

Notas: O raciocínio e os parâmetros são de Dasgupta (2007b). A montagem da tabela foi feita pelo autor. Os números entre parênteses, da coluna 1, referem-se ao ano em que os autores fizeram o estudo.

Os dados reunidos por Dasgupta (2007b, p.12-13), considerando a hipótese de que a taxa de crescimento do consumo g é única (mesmo valor para os três autores) e vale 1.3%, mostram que a menor taxa de desconto social seria a adotada por Stern (2006) na sua *Review*: 1.4% ao ano. Para a obtenção desta TDS, Stern adotou 0.1% para a taxa de preferência pura δ e 1 para a elasticidade marginal do consumo η . Valores mais altos foram adotados por Nordhaus. Este, em seu estudo, adotou δ igual a 3%, resultando numa a TDS de 4.3%.

É importante lembrar que ao adotar uma taxa δ de 3%, eticamente Nordhaus está dizendo que as gerações não são tratadas igualmente. A geração atual arcará com maior peso se for obrigada a investir para reduzir as emissões, já que, historicamente, sua renda é menor que a das gerações futuras. Stern e Cline, por outro lado, ao adotarem δ próximo de zero, trataram as gerações igualmente, descontando apenas a parte da TDS da chamada componente da riqueza, ou seja, do fator $\eta.g$.

Ao repetir os cálculos das figuras 15 e 16, utilizando as taxas de desconto da tabela 16, de Stern e Nordhaus, em vez das taxas s de 10% e 0.1%, conseguem-se os resultados da figura 17. Ela mostra o quanto o dano é sensível às taxas de desconto. Com a taxa de 1.4%, empregada por Stern, o dano cai de 5.28 trilhões para 1.31 trilhão, ao passo que com a taxa de 4.3% de Nordhaus, o dano é reduzido de 5.28 trilhão para apenas 78 bilhões. Isso mostra o quanto a escolha da TDS é relevante para a estimativa dos danos.

Figura 17 - Efeito da taxa de desconto social em Stern e em Nordhaus, em 100 anos

$V_{Stern} = \frac{V_M}{(1+s)^n} =$	$V_{Nordhaus} = \frac{V_M}{(1+s)^n} =$
$V_{Stern} = \frac{5.28}{(1+0.014)^{2108-2008}} =$	$V_{Nordhaus} = \frac{5.28}{(1+0.043)^{2108-2008}} =$
$V_{Stern} = \frac{5.28}{(1.014)^{100}} =$	$V_{Nordhaus} = \frac{5.28}{(1.043)^{100}} =$
$V_{Stern} = \frac{5.28}{4.02} =$	$V_{Nordhaus} = \frac{5.28}{67.4} =$
$V_{Stern} = 1.31 \text{ trilhão}$	$V_{Nordhaus} = 78 \text{ bilhões}$

Conforme alerta Dasgupta (2007b, p.12-13), embora no curto prazo pareça não haver muita diferença entre escolher uma taxa de 1.4% e outra de 4.3%, na economia aplicada aos longos prazos, como nos assuntos que envolvem o aquecimento global, a escolha faz grande diferença. O montante do dano, utilizando a taxa de desconto de Nordhaus é quase 17 vezes menor do que se utilizássemos a taxa escolhida por Stern (2006), conforme mostra a figura 17.

Embora as diferenças entre as taxas pareçam imperceptíveis, quando descontadas e aplicadas aos danos, elas têm impactos extremamente importantes para o resultado final da estimativa. No exemplo da figura 17, se os investimentos de mitigação fossem, hipoteticamente, 200 bilhões, o dano de Stern passaria na análise custo-benefício, enquanto que o dano de Nordhaus não passaria. Isso significa dizer que as emissões continuariam em Nordhaus e seriam evitadas em Stern, pelo simples fato da escolha da TDS escolhidas por um e outro, embora em termos absolutos, sem o desconto, o dano continuasse a ser 5.28 trilhões.

4.8 Comentários finais

Neste capítulo foi possível confirmar a sensibilidade que o dano sofre, mediante a escolha de um parâmetro ou procedimento de cálculo; a taxa de desconto ou processo de descontagem. Defende-se aqui a idéia de que situações que envolvam fenômenos ou cálculos de longo prazo, por exemplo, acima de 30 anos, exigem que se utilize a taxa de desconto

social (TDS). Sua utilização, em lugar da taxa de desconto do mercado financeiro, se relaciona a idéia de que ela terá impacto sobre o consumo e não sobre o investimento da sociedade. Além disso, seu uso também é justificado devido à idéia de que ela é mais adequada para tratar questões de justiça e igualdade intergeracional. Por meio dela pode-se descontar apenas a taxa de crescimento da economia, $\eta.g$, acrescida da taxa de preferência pura no tempo δ , que representa a taxa que a sociedade está disposta a trocar de consumo presente pelo consumo futuro.

Taxas de juros do mercado financeiro não descontam apenas o crescimento econômico, mas permitem embutir percentuais mais altos, para garantir um ganho adicional ao prestador, devido ao risco e também pela recompensa que ele recebe pelo uso de seu capital por um terceiro.

Dessa forma defendemos que a TDS é a taxa adequada para descontagem no contexto dos cálculos de danos do aquecimento global. A equação de Ramsey (13) sintetiza seus parâmetros internos: a taxa de preferência pura no tempo δ , a elasticidade marginal do consumo η e a taxa de crescimento do consumo g . Para todos esses parâmetros cabe pesquisa adicional para estabelecer a melhor forma de proceder com sua escolha ou estimação.

Deve-se ficar claro que, a adoção de valores para esses parâmetros, que resultem numa TDS de valor elevado, terá impacto direto sobre o equivalente de consumo do dano. Como vimos nas seções anteriores, a escolha de uma taxa de desconto de 10%, em comparação a outra de 2%, reduz o montante do dano em mais de cinco vezes. Outras hipóteses, como os exemplos indicadas na tabela 16 e pela figura 17, fazem a taxa de desconto ter impactos ainda mais dramáticos sobre o dano – diferenças da ordem de 17 vezes mais, de uma taxa em relação à outra.

Dessa forma, a taxa de desconto utilizada em estimativas de danos, quando estamos tratando dos efeitos do aquecimento global, deve sempre ser aplicada e avaliada com o máximo de cuidado. Ao não fazê-lo, corre-se o risco de subestimar o montante do dano e, eventualmente, levar a tomadas de decisão que sigam no sentido oposto ao de se promover o desenvolvimento sustentável e a igualdade entre gerações.

Para finalizar é preciso dizer que a equação (17) poderia ser combinada à equação do dano ponderado (12), gerando a equação (18)⁷⁵, que é exemplificada abaixo:

$$V_D = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^\eta (1+s)^{-t} \quad (18)$$

A equação (18) reflete os três parâmetros ou processos fundamentais que descrevemos na introdução nesse trabalho e que precisam receber a atenção de quem deseja calcular o dano proveniente do aquecimento global. Nela V_D é o valor descontado do dano. (18) captura o dano futuro, por meio do parâmetro $D(t,i,r)$, a ponderação, por meio do fator de ponderação $\left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]$ e a descontagem por meio do fator de descontagem $(1+s)^{-t}$, sendo s a TDS.

A equação (18) é a fórmula geral de cálculo de dano ponderado e descontado, que aparece em Anthoff, Hepburn e Tol (2006, p.9). Ela pode ser traduzida como a equação que permite o cálculo da variação de bem-estar, na forma de equivalentes de consumo, causada pelo aquecimento global. (18) mede o dano causado nas regiões ou macro-regiões i , em dado ponto t do tempo, afetado pelas emissões feitas em r , antes de t , multiplicadas pelo fator de ponderação, multiplicado pelo fator de descontagem. O cálculo é feito para cada região e para cada ponto no tempo, resultando no dano total, ponderado e descontado. Assim, o que explicamos de maneira parcial, nos capítulos 2, 3 e 4, assume sua forma completa, agregada e simultânea por meio da equação (18). Tal equação sintetiza todo o processo de estimação de danos que apresentamos neste trabalho.

⁷⁵ Os passos para a obtenção de (18) são os seguintes:

Combina-se a equação (12) e (17), fazendo-se $V_M = V_x(r)$, $i = s$ e $n = t$, daí temos que:

$$V_D = \frac{V_M}{(1+i)^n} = \frac{V_M}{(1+s)^t} = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} \frac{D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^\eta}{(1+s)^t} =$$

$$V_D = \sum_{t=r}^T \sum_{i=1}^{n(t)} D(t,i,r) \left[\frac{C(t,m,E)}{C(t,i,E)} \right]^\eta (1+s)^{-t}$$

Na maior parte da literatura, os cálculos não são feitos como foi feito neste trabalho, tendo como base Fankhauser (1993) e Tol (2002a). Ou seja, os danos não são estimados numa seqüência lógica e de maneira parcial: primeiro se levantam os danos, depois se realiza o procedimento da ponderação e, por fim, procede-se com a descontagem. Com o advento dos modelos de avaliação integrados (MAI), o cálculo é feito simultaneamente. Isso significa que as emissões são projetadas incrementalmente, ano a ano. Para cada ano é possível fazer o cálculo do dano, por meio da equação (18). Os primeiros modelos tratavam de fazer o cálculo de dano, buscando o ano em que ocorreria a duplicação das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera ($2xCO_2$), com relação ao período pré-industrial. Para este ano, era estimado o dano, em equivalentes de consumo. Os modelos atuais têm utilizado uma metodologia mais ampla e flexível. Com eles é possível obter o valor de dano para cada ano projetado, embora seja muito comum atualmente, estimar o dano que ocorrerá no ano 2100. Talvez esse ano de referência seja por influência do IPCC (2007a, 2007b, 2007c), que conduz seus trabalhos utilizando 2100 como o ano de referência para os cálculos de danos.

Assim, quando da estimativa de danos, não há a necessidade de tratar cada um dos procedimentos – cálculo dos danos, ponderação e descontagem – separadamente. Adotamos essa metodologia, neste trabalho, por questões didáticas. Queria-se evidenciar, de maneira clara, cada um dos procedimentos que levam ao dano, causado pelo aquecimento global. Por meio da equação (18), os procedimentos de cálculo de dano podem ser conduzidos de maneira simultânea e para qualquer ano ou ponto do tempo.

CONCLUSÕES

A despeito de o sistema climático ser complexo, com interações entre diversos tipos de formações naturais; atmosfera, reservas de água, reservas de gelo, níveis de temperatura regionais, fluxos de ventos, intercâmbio entre essas formações, etc., ele tinha certa previsibilidade de funcionamento. O sistema climático funcionava de maneira relativamente estável até o ano 1750. Significa dizer que concentração de determinados gases na atmosfera e a temperatura média do sistema, em particular, funcionavam de maneira relativamente estáveis até o ano 1750 (IPCC, 2007a). A partir de então, várias evidências dão conta da mudança na composição atmosférica e dos níveis de temperatura média do planeta. Essas alterações parecem ter origem na intervenção do homem no meio ambiente. O principal agente de mudança da temperatura é a emissão ou lançamento de grandes quantidades de alguns tipos de gases na atmosfera. Gases estes produzidos pelo homem.

O chamado *efeito estufa natural*, que é um dos fenômenos benéficos do sistema clima e que garante temperaturas amenas na superfície da Terra, foi afetado pelo volume de gases emitidos pelo homem, especialmente os chamados gases de efeito estufa – CO₂, N₂O, CH₄ e algumas substâncias a base de flúor. Esses gases, emitidos principalmente em processos de produção de energia, têm sido lançados na atmosfera num volume muito maior do que o planeta tem capacidade de suportar (IEA, 2006; DIETZ et. al, 2007, p.126). O excedente dessas emissões, que permanece na atmosfera, provoca o aumento da temperatura da Terra. Essa elevação da temperatura, devido ao maior nível de gases na atmosfera, causa o chamado *efeito estufa reforçado*. Ele ocorre, pois esses gases têm a capacidade de fixar ou reter calor próximo da superfície terrestre, aumentando a temperatura média do planeta. O nome *efeito reforçado*, vem da idéia de que um volume de gases, em maior quantidade, também fixa mais calor, reforçando ou aumentando o impacto de um mecanismo que era originalmente natural e benéfico.

O *efeito estufa reforçado* causa uma série de danos naturais, tais como a elevação do nível do mar e os fenômenos extremos do clima; tormentas, furações, tufões, etc. Um dos

grandes desafios, do ponto de vista econômico, é traduzir esses danos naturais em danos na forma de algum tipo de numerário (*valuation* do dano). Isso permite medir o impacto econômico que as emissões de gases de efeito estufa têm sobre a sociedade. O presente estudo mostrou que esse levantamento pode ser feito por meio das chamadas categorias de danos. As categorias são danos, agrupados por algum tipo de similaridade, que depois são somados para resultar no dano global, provocado pelo aquecimento global. Os danos causados pela elevação do nível do mar, por exemplo, são estimados somando-se as perdas de propriedades costeiras, as perdas de regiões úmidas (mangues, habitats que servem de subsistência para outras espécies), as perdas de fontes de água doce devido à intrusão de água salgada do mar, etc. Esse processo de estimação é repetido para as outras categorias de danos, tais como danos devido à perda de espécies, danos devido às perdas causadas pelo aquecimento global no setor de agricultura, etc. A soma das várias categorias de danos perfaz o dano total, causado pelo aquecimento global.

O primeiro problema que surge nesse tipo de estimação é que há incertezas impostas nos cálculos; naturais, por falta de entendimento científico de alguns fenômenos do sistema climático e, metodológicos, por falta de informações disponíveis em nível global (WATKISS, 2006).

Incertezas naturais são provenientes da falta de entendimento científico e podem subestimar o cálculo de danos. Fenômenos extremos e grandiosos do clima, por exemplo, tais como o degelo de regiões frias do planeta, podem ter impactos econômicos consideráveis que, entretanto, hoje não são capturados pelos modelos de cálculo (ou sequer são entendidos pelos cientistas). Isso significa que provavelmente essas categorias de dano são subestimadas pelos modelos. Isso devido ao fato deles não incluírem todos os danos potenciais que tais fenômenos naturais podem causar. Além disso, várias categorias de danos não são plenamente capturadas pelos modelos atualmente, especialmente os danos que não têm preços dados pelos mercados (*non-market impacts*) e os danos *socialmente condicionados* (*socially contingent impacts*). Impactos *não-mercado* tratam da estimação de danos que não têm preços de mercado, tais como a perda de vidas e de biodiversidade (não há cotações de mercado para a vida de pessoas ou espécies). Impactos *socialmente condicionados* se relacionam com danos causados à população ou à sociedade devido às conseqüências dos fenômenos extremos, tais

como, processos migratórios intensos para fugir de regiões afetadas pelo clima, guerras pela posse de áreas não atingidas, fome, etc. Não há estimativas do dano que tais situações causam às pessoas, do ponto de vista social e psicológico.

Incertezas metodológicas surgem quando da necessidade de fazer extrapolações ou simplificações para se obter a estimativa de dano global. Estimativas de danos, na forma de equivalentes de consumo, utilizam a chamada técnica enumerativa. Esta consiste na idéia de que, a partir de estudos científicos naturais ou feitos em laboratório, os impactos físicos são multiplicados por preços estimados ou colhidos no mercado (TOL, 2008). O problema é que esses estudos científicos de base têm amplitude limitada. Por vezes, são estimados para um único país ou região e depois são extrapolados para outros países no momento da estimação do dano. Dada a grande diferença entre países, culturas, regiões, clima, formação ética e moral, tais estudos de base, quando extrapolados podem não ter o mesmo resultado do estudo original, para essas outras regiões ou países. Extrapolações, aproximações e simplificações podem facilitar o processo de cálculo, mas não necessariamente conduzirão à uma estimativa de dano exata ou mesmo fiel ao estudo de base. Essas simplificações tendem a por em dúvida, o resultado total do dano. Fankhauser (1993), Tol (2002a) e Cline (1992) mostram que a maioria das categorias de danos é calculada com algum nível de simplificação ou extrapolação, gerando estimativas subavaliadas de danos. O ideal seria avançar as pesquisas de base num nível mais regionalizado, para capturar comportamentos e tendências dos danos para a região ou país, sem essas simplificações.

O segundo problema que surge, quando da estimação dos danos, é que muitos estudos não aplicam o procedimento da ponderação (*equity weighting*). Esse procedimento permite realizar a estimação real do dano com base na renda *per capita* das regiões ou das pessoas que vivem nela. Mostrou-se nesse trabalho que, globalmente, os danos se elevam quando a ponderação é aplicada e que seu uso é plenamente justificável (ANTHOFF, 2004). Isso se deve ao fato de que as populações mais pobres, tendo que comprometer maior volume de recursos para se adaptar ou conviver com a mudança do clima, sofrerão maior redução de bem-estar e terão sobre si um maior fardo para conviverem com a mudança do clima. Com base em estudos de Pearce (2003), constatou-se neste trabalho que o dano global para as regiões pobres aumenta em mais de 200% quando a ponderação é empregada. Além disso,

mediante a escolha do coeficiente de aversão ao risco η , o dano global pode aumentar entre 21% e 41%, podendo ir além desses percentuais, se o coeficiente assumir valores maiores. Nesse trabalho, defende-se a idéia de que os danos devem ser ponderados pela renda, diferente do que foi adotado em Stern (2006). A defesa em prol da ponderação é necessária, pois ao não fazê-lo, a estimativa de dano fica sujeita à subestimação e não captura o peso real que recai sobre as populações que vivem em regiões mais pobres.

O terceiro problema que envolve o cálculo de dano, causado pelo aquecimento global, é o processo de descontagem. Os modelos utilizados para estimação do dano buscam projetar o comportamento de emissões dentro de um intervalo de tempo, de maneira a estimar quais seriam os danos projetados num ponto futuro. Esse dano no futuro é, então, trazido a valor presente, por meio da descontagem, que é um procedimento normal, adotado em situações em que existe um fluxo de recursos e no qual se deseja estimar o peso efetivo que tal montante tem para a sociedade hoje e não no futuro.

Para fazer o procedimento da descontagem, utilizam-se as taxas de juros, ou seja, se elege uma taxa de juros que será aplicada ao valor do dano, com o objetivo de trazê-lo ao seu valor presente. O problema reside no fato de que, estimativas sobre o dano do aquecimento global, podem ser realizadas usando-se taxas de juros do mercado financeiro. Tais taxas são inapropriadas para a descontagem de danos causadas pelo aquecimento global (CLINE, 1992; ACKERMAN, 2007; GUO et al., 2006), uma vez que são sempre mais altas que as taxas aplicadas à implementação de projetos de interesse social, como é o caso do tema do aquecimento global. Há concordância a respeito da idéia de que a taxa de desconto a ser utilizada em cálculos de dano, provocados pelo aquecimento global, deve ser a chamada taxa de desconto social (TDS) (DASGUPTA, 2007b; NORDHAUS, 2007).

A TDS deve ser utilizada, pois ela não embute em si uma recompensa ao capital pelo uso do dinheiro, o que seria normal nas taxas de juros do mercado financeiro. Ela é aplicada em estudos ou cálculos relacionados à perda de bem-estar para a sociedade, na forma de consumo. A TDS tem maior adequação, em procedimentos de descontagem que envolvem a mudança do clima, devido ao fato de que seus parâmetros internos permitem fazer a

descontagem apenas da taxa de crescimento da sociedade, por meio dos parâmetros η, g , acrescida de uma taxa que mede o grau de justiça intergeracional δ . Essa última trás consigo reflexão sobre a ética intergeracional, no sentido de que se possa escolher qual é o peso se dará às gerações. Em outras palavras, a escolha do valor de δ pode dar uma pista da escolha ética ou moral que tomamos, em prol de uma ou outra geração. No capítulo 4 desse trabalho, ficou evidenciado por Dasgupta (2007b) que a escolha de valores de δ positivos e diferentes de zero, revelam o maior fardo que se dá à gerações atuais em oposição às gerações futuras, pois isso implicará numa TDS mais elevada. No processo de descontagem, isso significa subestimação do valor do dano, assim como, manutenção do *status quo* das emissões, já que conduz à idéia de que os danos são pequenos quando comparados aos investimentos necessários para conter as emissões e, portanto, não compensaria investir no corte de emissões.

Nesse trabalho, defendemos a idéia de que a taxa de desconto que deve ser utilizada, nos cálculos de danos, é a TDS. Além disso, a taxa de preferência pura no tempo δ deve ser algo próximo de zero, assim como fizeram Stern (2006) e Cline (1992) em seus estudos. Essa opção por δ próxima de zero, tem o sentido que as gerações sejam tratadas igualmente, sendo apenas incorporada à TDS e depois descontadas, no processo de cálculo de danos, os fatores relacionadas ao crescimento econômico η, g . Também defende-se uma agenda de pesquisa em torno da taxa de elasticidade marginal do consumo η , já que, a despeito de haver consenso de que tal parâmetro deva estar no intervalo entre 1 e 2 (PEARCE e ULPH, 1989; EVANS, 2006; LOPEZ (2008), há controvérsia quanto ao método para a sua estimação (PEARCE e ULPH, 1989; EVANS, 2006). No caso do cálculo da taxa de crescimento do consumo g , há a necessidade de se definir o intervalo de apuração desse parâmetro, com o risco de que ele afete a TDS.

O cálculo do dano global, na forma de equivalentes de consumo, é fortemente afetado pela escolha das taxas de desconto (DASGUPTA, 2007b). Altas taxas de desconto tendem a tornar o dano irrelevante, especialmente nos longos períodos de tempo que são utilizados nos cálculos que envolvem o aquecimento global. Dessa forma é indesejável a escolha de taxas do mercado financeiro na realização de cálculo de danos, assim como é indesejável uma TDS com altos para seus parâmetros internos. Assim, além de δ , os parâmetros η e g , que compõe a

TDS, também merecem atenção e estudos adicionais, pois elas têm impacto direto sobre a TDS.

Para finalizar, é importante dizer que buscamos evidenciar nesse trabalho os principais parâmetros e procedimentos que influenciam o cálculo do dano, na forma de equivalentes de consumo, provocado pelo aquecimento global. Confirmamos que há ainda a necessidade de avançarmos em três frentes de pesquisa: reduzir as incertezas científicas e metodológicas, aplicar de maneira plena a ponderação e, por fim, escolher de forma apropriada as taxas de desconto (e seus parâmetros internos), aplicadas aos danos. O presente trabalho mostrou que há ainda omissões no interior dos modelos, no sentido de que eles ainda não desenvolveram todo o ferramental científico para capturar as grandes externalidades provocadas pelo aquecimento global. Entretanto, em várias partes do trabalho, evidenciou-se que essas omissões devem estar subestimando o dano causado pelo aquecimento global, seja pela incapacidade de medir todos os efeitos do fenômeno, seja pela não aplicação correta das ferramentas da ponderação e da descontagem. Do ponto de vista imediatista isso é ruim, já que atualmente não conseguimos enxergar todo o vetor de danos econômicos que o aquecimento global provoca. Do ponto de vista científico isso é auspicioso, já que se têm pela frente uma grande agenda de pesquisa, com o objetivo reduzir esses *gaps* de conhecimento.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, Frank. *Debating Climate Economics: The Stern Review vs. Its Critics*. Massachusetts, Global Development and Environment Institute, Tufts University, 2007. Disponível em: <http://www.sei-us.org/climate-and-energy/debate_climate_econs.pdf>. Acesso em: 03/11/2008.

ANTHOFF, David. *Social Cost of Carbon: Equity Weighting*. 60f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Mudança Ambiental). Oxford: Universidade de Oxford, 2004. Disponível em: <[http://www.economics.ox.ac.uk/members/cameron.hepburn/Anthoff\(2004\).pdf](http://www.economics.ox.ac.uk/members/cameron.hepburn/Anthoff(2004).pdf)>. Acesso em: 03/11/2008.

ANTHOFF, David; HEPBURN, Cameron; TOL, Richard. *Equity weighting and marginal damage costs of climate change*. Hamburgo: FNU-121 Working Paper, 2003. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/AnthoffHepburnTol2006EquityWeighting.pdf>>. Acesso em: 03/11/2008.

ANTHOFF, David; NICHOLSS, Robert; TOL, Richard. *Global sea-level rise and equity weighting*. Hamburgo: FNU-136 Working Paper, 2007. Disponível em: <<http://www.mi.uni-hamburg.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/SeaLevelRiseEquityWeightingWP.pdf>>. Acesso em: 20/11/2007.

ANTHOFF, David; TOL, Richard. *On international equity weights and national decision making on climate change*. Hamburgo: FNU-127 Working Paper, 2007. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/nationalequityweightswp.pdf>>. Acesso em: 31/01/2009.

ANTHOFF, David; TOL, Richard; YOHE, Gary. *Risk aversion, time preference and the social cost of carbon*. Dublin: ESRI, Working Paper 252, 2008. Disponível em: <<http://www.esri.ie/UserFiles/publications/20080904135651/WP252.pdf>>. Acesso em: 31/01/2009.

ARRHENIUS, Svante. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *In: Philosophical Magazine and Journal of Science*, v41, p.237-276, 1896. Disponível em: <<http://www.globalwarmingart.com/images/1/18/Arrhenius.pdf>>. Acesso em: 05/04/2008.

ARROW, Keneth; SOLOW, Robert; PORTNEY, Paul; LEAMER, Edward, SCHUMAN, Howard. *Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation*. Washington, 1993. Disponível em: <<http://www.darrp.noaa.gov/library/pdf/cvblue.pdf>>. Acesso em: 08/11/2008.

AZAR, Christian; STERNER, Thomas. Discounting and distributional considerations in the context of global warming. *In: Ecological Economics*, v.19, p.169-184, 1996. Disponível em: [http://www.hgu.gu.se/files/nationalekonomi/personal/thomas%20sterner/azar%20%20sterner%201996\(2\).pdf](http://www.hgu.gu.se/files/nationalekonomi/personal/thomas%20sterner/azar%20%20sterner%201996(2).pdf)>. Acesso em: 15/01/2009.

CLARKSON, Richard; DEYES, Kathryn. *Estimating the Social Cost of Carbon Emissions*. Londres: DEFRA, Working Paper 140, 2002. Disponível em: <<http://www.hm-treasury.gov.uk/d/SCC.pdf>>. Acesso em: 01/11/2008.

CEPA. *The Parethian System – Social Welfare*. Disponível em: <<http://cepa.newschool.edu/het/essays/paretian/paretosocial.htm>>. Acesso em: 26/01/2009.

CLINE, William. *The Economics of Global Warming*. Washington: Institute for International Economics, 1992.

DASGUPTA, Partha. *Three Concepts of Intergenerational Justice*. Oxford: Clarendon Press, 2004. Disponível em: <<http://www.econ.cam.ac.uk/faculty/dasgupta/RAMSEY.pdf>>. Acesso em: 03/11/2008.

_____. Comments on the Stern Review's economics of climate change. *In: National Institute Economic Review*, Londres, v.199, p.4-7, 2007a. Disponível em: <<http://www.econ.cam.ac.uk/faculty/dasgupta/STERN.pdf>>. Acesso em: 03/11/2008.

_____. *Discounting Climate Change*. Cambridge: University of Cambridge, 2007b. Disponível em: <<http://www.econ.cam.ac.uk/faculty/dasgupta/pub07/Stavins1.pdf>>. Acesso em: 19/11/2007.

DELONG, Brad. *Partha Dasgupta Makes a Mistake in His Critique of the Stern Review*. 2006a. Disponível em: <<http://delong.typepad.com/sdj/2006/11/index.html>>. Acesso em: 01/11/2008.

_____. *Applied Utilitarianism and Global Climate Change*. 2006b. Disponível em: <http://delong.typepad.com/sdj/2006/12/brad_delongs_se.html>. Acesso em: 01/11/2008.

DICE. Website. *DICE Model Version April 4, 2007*. 2007. Disponível em: <<http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/DICE2007.htm>>. Acesso em: 08/11/2007.

DIETZ, Simon; HOPE, Chris; STERN, Nicolas; ZENGHELIS, Dimitri. Reflection on the Stern Review (1): A Robust Case for Strong Action to Reduce the Risks of Climate Change. *In: World Economics*. Oxford, v.8, n.1, p.121-166, 2007. Disponível em: <http://www.occ.gov.uk/activities/stern_papers/World_Economics1.pdf>. Acesso em: 20/02/2009.

EVANS, David. *Social Discount Rates for the European Union*. Milano. Università degli Studi di Milano, WP 2006-20, 2006. Disponível em: <http://www.economia.unimi.it/uploads/wp/EVANS-2006_20.pdf>. Acesso em: 20/02/2009.

FANKHAUSER, Samuel. *Global Warming Damage Costs: Some Monetary Estimates*. Norwick: CSERGE, Working Paper GEC-1992-29, 1993. Disponível em: <http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1992_29.pdf>. Acesso em: 02/05/2008.

FANKHAUSER, Samuel; TOL, Richard; PEARCE, David. *Equity and the Aggregation of Climate Change Damages*. Norwick: CSERGE, Working Paper GEC-1996-18, 1996. Disponível em: <http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1996_18.pdf>. Acesso em: 02/05/2008.

FUND. *THE CLIMATE FRAMEWORK FOR UNCERTAINTY, NEGOTIATION AND DISTRIBUTION (FUND), WEBSITE*. Hamburgo, 2007. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/FUND.5679.0.html?&L=3>>. Acesso em: 08/11/2007.

_____. *THE CLIMATE FRAMEWORK FOR UNCERTAINTY, NEGOTIATION AND DISTRIBUTION (FUND), TECHNICAL DESCRIPTION, VERSION 2.8*. Hamburgo, 2008a. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/models-data/fund/technical.pdf>>. Acesso em: 02/11/2008.

_____. *THE CLIMATE FRAMEWORK FOR UNCERTAINTY, NEGOTIATION AND DISTRIBUTION (FUND), TABLES, VERSION 2.8*. Hamburgo, 2008b. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/models-data/fund/tables.pdf>>. Acesso em: 02/11/2008.

GUO, Jiehan et al. Discounting and social cost of carbon: a closer look at uncertainty. *In: Environment Science & Policy*. Oxford, v.9, n.3, p.205-216, 2006. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/models-data/fund/esp margcost.pdf>>. Acesso em: 02/11/2008.

Great Britain H.M. Treasury. *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*. Oxford, 2008. Disponível em: <http://www.hm-treasury.gov.uk/d/green_book_complete.pdf>. Acesso em: 20/02/2009.

HOPE, Chris. The Marginal Impact of CO₂ from PAGE2002: An Integrated Assessment Model Incorporating the IPCC's Five Reasons for Concern. *In: The Integrated Assessment Journal*. Vancouver, v.6, n.1, p.19-56, 2006. Disponível em: <http://journals.sfu.ca/int_assess/index.php/iaj/article/viewFile/227/190>. Acesso em: 08/11/2008.

HOWARTH, Richard ; MONAHAN, Patricia. *Economics, Ethics and Climate Policy*. California, Lawrence Bekerley Laboratory, LBL-33230, 1992.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *CO₂ Emissions from fuel combustion (2006 Edition). Greenhouse gas emissions. Part III.* 2006. Disponível em: <<http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/IEA2006-CO2-Part3.pdf>>. Acesso em: 02/11/2008.

IPCC. *Anniversary Brochure. 16 years of Scientific Assessment in Support of Climate Change.* Genebra, 2004. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/10th-anniversary/anniversary-brochure.pdf>>. Acesso em: 16/03/2008.

_____. *Carbon Dioxide Capture and Storage.* Montreal, 2005. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_technicalsummary.pdf>. Acesso em: 02/11/2008.

_____. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, Cambridge University Press, 2007a. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>. Acesso em: 02/11/2008.

_____. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* Cambridge, Cambridge University Press, 2007b. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>>. Acesso em: 02/11/2008.

_____. *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, Cambridge University Press, 2007c. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>>. Acesso em: 02/11/2008.

KOOPMANS, Tjalling. *On the Concept of Optimal Economic Growth.* Connecticut. Yale University. Cowling Foundation Paper 238, 1965. Disponível em: <<http://cowles.econ.yale.edu/P/cp/p02a/p0238.pdf>>. Acesso em 02/11/2008.

LITTLE, Ian Malcolm David. *Ethics, Economics & Politics – Principles of Public Policy*. New York: Oxford University Press, 2002.

LOPEZ, Humberto. *The Social Discount Rate: Estimates for Nine Latin American Countries*. Washington. World Bank, Working Paper 4639, 2008. Disponível em <http://www-ds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2008/06/03/000158349_20080603084938/Rendered/PDF/wps4639.pdf>. Acesso em: 20/02/2009.

NORDHAUS, William. *The Stern Review on the economics of climate change*. Connecticut, Yale University, 2007. Disponível em: <http://nordhaus.econ.yale.edu/stern_050307.pdf>. Acesso em: 10/11/2007.

PEARCE, David. The social cost of carbon and its policy implications. *In: Oxford Review Of Economics Policy*. Oxford, v.19, n.3, p.362-384, 2003. Disponível em: <http://www.vulnerabilitynet.org/OPMS/view.php?site=seiproject&bn=seiproject_hotel&key=1140130225>. Acesso em: 02/11/2008.

PEW CENTER. *Climate Change 101. The Science and the impacts*. Washington, 2006. Disponível em: <<http://www.pewcenteronthestates.org/uploadedFiles/Climate%20Change%20101,%20The%20Science%20and%20Impacts.pdf>>. Acesso em: 02/11/2008.

RAMSEY, Frank. A mathematical theory of saving. *In: Economic Journal*, Londres, v38, p.543-549, 1928.

RAWLS, John. *A Theory of Justice*. Oxford: Oxford University Press, 1972.

REILLY, John; BABIKER, Mustafá; MAYER, Monika. *Comparing Greenhouse Gases*. Massachusetts, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2002. Disponível em: <http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt77.pdf>. Acesso em: 02/11/2008.

SCHNEIDER, Stephen. *Global Warming: Are We Entering the Greenhouse Century?* San Francisco: A Sierra Club Book, 1989.

STERN, Nicolas. *The Economics of Climate Change. The Stern Review.* Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

_____. *After the Stern Review: reflections and responses. The case for action to reduce the risks of climate change.* Office of Climate Change, Londres. 2007a. Disponível em: <http://www.occ.gov.uk/activities/stern_papers/YALE%20PAPER%20A%20-%20THE%20CASE%20FOR%20ACTION%20-%20FINAL.pdf>. Acesso em: 26/10/2008.

TOL, Richard. The damage of costs of climate change towards a dynamic representation. *In: Ecological Economics*, v.19, p.67-90, 1996. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/ececdamagedynamic.pdf>>. Acesso em: 26/10/2008.

_____. Estimates of Damage Costs of Climate Change. Part I. Benchmark Estimates. *In: Environmental and Resource Economics*. Holanda, v.21, p.47-73. Kluwer Academic Publishers, 2002a. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/eredamage1.pdf>>. Acesso em: 26/10/2008.

_____. Estimates of Damage Costs of Climate Change. Part II. Dynamics Estimates. *In: Environmental and Resource Economics*. Holanda, v.21, p.135-160. Kluwer Academic Publishers, 2002b. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/eredamage2.pdf>>. Acesso em: 26/10/2008.

_____. *The marginal costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties.* Hamburgo: FNU-19 Working Paper, 2003. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/margcostunc.pdf>>. Acesso em: 10/11/2007

_____. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *In: Energy Policy*. Holanda, v.33, p.2064-2074. Elsevier Editors, 2005. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/tol/enpolmargcost.pdf>>. Acesso em: 15/01/2009.

_____. *The Stern Review of the economics of climate change: a comment*. Hamburgo: Universidade de Hamburgo, 2006. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/reports/sternreview.pdf>>. Acesso em: 10/11/2007.

_____. *The Economic Impact of Climate Change*. Dublin: Economic and Social Research Institute, Working Paper N255, 2008. Disponível em: <<http://www.esri.ie/UserFiles/publications/20080922144128/WP255.pdf>>. Acesso em: 08/11/2008.

WATKISS, Paul et al. *The Social Costs of Carbon (SCC) Review – Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment – Final Report*. Londres: Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2006. Disponível em: <<http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/research/carboncost/pdf/aeat-scc-report.pdf>>. Acesso em: 02/11/2008.

WEART, Spencer. *The Discover of Global Warming*. Massachusetts. Havard University Press, 2006. Disponível em: <<http://www.aip.org/history/climate/pdf/CO2.pdf>>. Acesso em 23/02/2009.

WORLD BANK. *Total GDP 2006. World Development Indicators Database*. Washington, 2007. Disponível em: <<http://www.labor.ca.gov/panel/pdf/GDP.pdf>>. Acesso em: 23/02/2009.