



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

João Carlos Nascimento Alcantara

UM ESTUDO DO MERCADO INTERNACIONAL DE
CRÉDITOS DE CARBONO À LUZ DA ABORDAGEM *SOFT* DA
DINÂMICA DE SISTEMAS.

Rio de Janeiro

2013



UFRJ

João Carlos Nascimento Alcantara

UM ESTUDO DO MERCADO INTERNACIONAL DE
CRÉDITOS DE CARBONO À LUZ DA ABORDAGEM
SOFT DA DINÂMICA DE SISTEMAS.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PEA), Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Amarildo da Cruz Fernandes, D.Sc.

Rio de Janeiro

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Alcantara, João Carlos Nascimento.

Um Estudo do Mercado Internacional de Créditos de Carbono à Luz da Abordagem Soft da Dinâmica de Sistemas. / João Carlos Nascimento Alcantara. 2013.
f. : 138 Il. 30 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química. Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2013.

Orientador: Amarildo da Cruz Fernandes

1. Dinâmica de Sistemas. 2. Pensamento Sistêmico. 3. Precificação. 4. Carbono. I. Fernandes, Amarildo da Cruz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



UFRJ

UM ESTUDO DO MERCADO INTERNACIONAL DE CRÉDITOS DE CARBONO À
LUZ DA ABORDAGEM SOFT DA DINÂMICA DE SISTEMAS

João Carlos Nascimento Alcantara

Orientador: Amarildo da Cruz Fernandes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Amarildo da Cruz Fernandes, D.Sc./UFRJ/POLI/DEIPEA
(Orientador - Presidente)

Isaac José Antônio Luquetti dos Santos, D.Sc./CNEN/PEA
Membro

Eduardo Gonçalves Serra, D.Sc./UFRJ/POLI/DENO/PEA
Membro

Régis da Rocha Motta, D.Sc./UFRJ/POLI/DEI
Membro

Rio de Janeiro
2013

RESUMO

ALCANTARA, João Carlos Nascimento. *Um Estudo do Mercado Internacional de Créditos de Carbono à Luz da Abordagem Soft da Dinâmica de Sistemas*. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

O Comércio Internacional de Emissões criado pelo Protocolo de Quioto, em 1997, transformou os certificados de carbono, a nível mundial, em uma *commodity* ambiental. Ao longo do tempo, bolsas especializadas em carbono foram sendo criadas a redor do mundo, e os chamados “créditos de carbono”, ao ver de muitos pesquisadores, se transformaram em uma das peças importantes para o controle das emissões de gases de efeito estufa para atmosfera por parte das empresas. Este trabalho teve por objetivo estudar as formas e as condições pelas quais se procede a precificação dos certificados de carbono no mercado internacional, assim como o de levantar e estudar o comportamento de todas as variáveis que afetam direta e indiretamente aqueles preços. O resultado final encontrado é um modelo sistêmico obtido por meio da abordagem *soft* da Dinâmica de Sistemas desenvolvida no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) por Forrester (1961).

Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas; Pensamento Sistêmico; Precificação; Carbono.

ABSTRACT

ALCANTARA, João Carlos Nascimento. *A Study of the Carbon Credits International Market under the Light of the System Dynamics' Soft Approach*. Rio de Janeiro, 2013. Dissertation (Mastership) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

The International Emissions Trading created by the Kyoto Protocol (1997), worldwide became carbon certificates as an environmental commodity. Over time, specialized carbon stock exchanges were being created around the world, and the so-called "carbon credits" in the vision of many researchers, became one of the important parts for greenhouse gases emissions to atmosphere control by companies. This study aimed to examine ways and conditions by which one undertakes the pricing of carbon certificates in the international market, as well as to raise and study the behavior of all variables that directly and indirectly affect those prices. The final result found is a systemic model obtained through the System Dynamics' Soft Approach developed at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) by Forrester (1961).

Keywords: System Dynamics, Systems Thinking, Pricing, Carbon.

LISTA DE QUADROS

		Pág.
Quadro 1	Variáveis componentes do modelo.	91
Quadro 2	Classificação das variáveis segundo critérios de sustentabilidade.	93
Quadro 3	Preços do carbono: Cenários de médio e longo prazo.	106

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Concentração de GEE X Aumento da temperatura da Terra	12
Figura 2	Preços médios das EUAs (em €).	27
Figura 3	Preços médios das CERs	29
Figura 4	Preços médios (<i>spot</i>): EUAs X CERs	30
Figura 5	Preços médios das ERUs (€).	32
Figura 6	Emissões acumuladas de GEE até 2012 (Gt).	52
Figura 7	Preços do petróleo no mercado internacional (€/barril)	57
Figura 8	Principais produtores de carvão duro	60
Figura 9	Principais produtores de carvão marrom	60
Figura 10	Preços do carvão australiano (2005 – 2012).	62
Figura 11	Eletricidade gerada com carvão	65
Figura 12	Eletricidade gerada com óleo combustível	66
Figura 13	Eletricidade gerada com gás natural.	66
Figura 14	Preços do gás natural russo na Europa	68
Figura 15	Série de preços – petróleo, carvão e gás natural (€/UM)	69
Figura 16	Indicadores da atividade econômica – Euro-27.	72
Figura 17	Quatro ciclos do pensamento sistêmico.	82
Figura 18	Diagrama de enlances causais simples	85
Figura 19	Representação de um <i>feedback</i> de equilíbrio	86
Figura 20	Quatro comportamentos comuns criados por diferentes laços de <i>feedback</i> .	86
Figura 21	Componentes teóricos, diretos, sobre o preço do carbono.	90
Figura 22	Modelo final - Diagrama de Enlace Causal (DEC) global	94
Figura 23	Primeiro <i>feedback</i> do Modelo (E-).	95
Figura 24	Segundo <i>feedback</i> do Modelo (R+).	96
Figura 25	Terceiro <i>feedback</i> do modelo (E-).	97
Figura 26	Quarto do <i>feedback</i> do modelo (E-).	98
Figura 27	Quinto do <i>feedback</i> do modelo (R+).	100
Figura 28	Sexto <i>feedback</i> do modelo (R+).	101
Figura 29	Sétimo <i>feedback</i> do modelo (E -).	102
Figura 30	Oitavo <i>feedback</i> do modelo (R+).	103

LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 1	Preços médios das EUAs (em €).	27
Tabela 2	Preços médios das CERs (em €)	28
Tabela 3	Preços médios das ERUs (em €)	31
Tabela 4	Oferta de energia primária no mundo (2009).	54
Tabela 5	Produção mundial de petróleo (2010).	55
Tabela 6	Produtores, exportadores e importadores de petróleo (2010)	56
Tabela 7	Preços do petróleo no mercado internacional (€/barril)	57
Tabela 8	Produção mundial de carvão (2010).	59
Tabela 9	Produtores, exportadores e importadores de carvão (2010).	59
Tabela 10	Preços do carvão no mercado internacional (€/ton.)	61
Tabela 11	Produção mundial de gás natural (2010).	63
Tabela 12	Produtores, exportadores e importadores de gás natural (2010).	63
Tabela 13	Produção mundial de EE por fonte	64
Tabela 14	Maiores produtores de eletricidade, por fonte (2009).	65
Tabela 15	Preços do gás natural russo na Europa (€/1.000 m ³)	68
Tabela 16	Indicadores da atividade econômica – Euro-27	71
Tabela 17	Dados socioambientais – Países do Anexo I de Quioto (1990).	74
Tabela 18	Dados socioambientais – Países do Anexo I de Quioto (2008).	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIE	Agência Internacional de Energia
BAU	<i>Business as usual</i>
bcm	Billions of cubic meters
BGR	<i>German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources</i>
BLUENEXT	Bolsa de Carbono sediada em Paris (França)
BM&F	Bolsa de Mercantil e Futuros
BOVESPA	Bolsa de Valores do Estado de São Paulo
BVRio	Bolsa-Verde do Rio de Janeiro
CAR	<i>Climate Action Registry</i>
CCFE	<i>Chicago Climate Futures Exchange</i>
CCX	<i>Chicago Climate Exchange</i>
CE	<i>Comunidade Europeia</i>
CER	<i>Certificate of Emissions Reduction</i>
CFI	<i>Carbon Financial Instrument</i>
CIE	Comércio Internacional de Emissões
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas
CRT	<i>Climate Reserve Tonnes</i>
CVM	Comissão de Valores Imobiliários
DECC	<i>Department of Climate Change and Energy Efficiency (Austrália)</i>
DS	Dinâmica de Sistemas
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ERU	<i>Emissions Reduction Unit</i>
EU	União Europeia
EU ETS	<i>European Union Emissions Trading System</i>
EUA	<i>European Union Allowance</i>
GEE	Gases de efeito estufa.
IC	Projeto de Implementação Conjunta
ICE	<i>Intercontinental Exchange</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MGGRA	<i>Midwestern Greenhouse Gas Reduction Accord</i>

MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NYSE	<i>New York Stock Exchange</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OEP	Oferta de energia primária
ONG	Organização Não-Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
OTC	<i>Over-The-Counter Market</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PNA	Plano Nacional de Alocação
ppm	Partes por milhão
RCE	Redução Certificada de Emissões
RGGI	<i>Regional Greenhouse Gas Initiative</i>
TCX	<i>Tiajin Climate Exchange</i> – Bolsa do Clima da China.
UE	União Europeia
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
VCU	<i>Verified Carbon Units</i>
VER	<i>Verified Emissions Reduction</i>
WCI	<i>Western Climate Initiative</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

£	Libra Esterlina. Moeda oficial em circulação no Reino Unido.
€	Euro. Moeda oficial em circulação na União Europeia.
A\$	Dólar Australiano
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente.
E-	<i>Feedback (loop)</i> de equilíbrio
MtCO _{2e}	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
Mtoe	Milhões de toneladas de petróleo equivalente
R+	<i>Feedback (loop)</i> de Reforço
tCO _{2e}	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
tep	Tonelada equivalente de petróleo.
TWh	Terawatt hora
US\$	Dólar Norte-Americano

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	2
1 INTRODUÇÃO	3
1.2 <i>Objetivos</i>	6
1.2.1 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.3 <i>Justificativa para o estudo</i>	7
1.4 <i>Delimitação do estudo</i>	15
CAPÍTULO 2	17
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS DO ESTUDO	18
2.1 <i>Leilões de carbono</i>	19
2.2 <i>Taxação das emissões</i>	19
2.3 <i>Sistema (Regime) cap-and-trade</i>	22
2.4 <i>Mercados regulados de carbono</i>	24
2.4.1 <i>Bolsa do Clima de Chicago - Pioneirismo</i>	24
2.4.2 <i>European Union Allowances (EUAs)</i>	26
2.4.3 <i>Redução Certificadas de Emissões (CERs)</i>	27
2.4.4 <i>Comparação entre preços: EUAs X CERs – Mercado à vista</i>	29
2.4.5 <i>Emission Reduction Units (ERUs)</i>	31
2.5 <i>Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS)</i>	33
2.5.1 <i>Fase I (2005 – 2007)</i>	34
2.5.2 <i>Fase II (2008 – 2012)</i>	34
2.5.3 <i>Fase III (2013 – 2020)</i>	37
2.6 <i>Mercados voluntários de carbono</i>	43
2.7 <i>Mercados regionais de carbono</i>	46
CAPÍTULO 3	50
3 <i>O setor energético e as mudanças climáticas</i>	51
3.1 <i>Oferta de energia primária no mundo</i>	54
3.1.1 <i>Petróleo</i>	55
3.1.1.1 <i>Preços históricos do petróleo</i>	56
3.1.2 <i>Carvão mineral</i>	58
3.1.2.1 <i>Preços históricos do carvão</i>	61

3.1.3	<i>Gás natural</i>	62
3.1.3.1	<i>Preços históricos do gás natural</i>	67
3.2	<i>Comparativo de preços no tempo: petróleo X carvão X gás natural</i>	69
3.3	<i>Efeito dos indicadores econômicos sobre as emissões globais de carbono</i>	70
3.3.1	<i>Indicadores da atividade econômica na Europa</i>	70
3.4	<i>Efeito dos indicadores de eficiência energética das principais economias do mundo sobre as emissões globais de carbono</i>	72

CAPÍTULO 4

4	FUNDAMENTOS & MÉTODOS EMPREGADOS	77
4.1	<i>Holismo</i>	77
4.2	<i>Conceito de sistema</i>	78
4.3	<i>Conceito de modelo</i>	81
4.4	<i>Conceito de modelagem</i>	81
4.5	<i>Conceito de sustentabilidade</i>	82
4.6	<i>Dinâmica de Sistemas</i>	83
4.6.1	<i>Abordagem soft da Dinâmica de Sistemas</i>	84
4.6.1.1	<i>Enlaces (feedbacks ou loops)</i>	85

CAPÍTULO 5

5	MODELAGEM DA DINÂMICA DE PREÇOS DO CARBONO	89
5.1	<i>Componentes do modelo de precificação</i>	89
5.2	<i>Discussão sobre os oito principais loops identificados no modelo</i>	95
5.2.1	<i>Primeiro Feedback</i>	95
5.2.2	<i>Segundo Feedback</i>	96
5.2.3	<i>Terceiro Feedback</i>	97
5.2.4	<i>Quarto Feedback</i>	98
5.2.5	<i>Quinto Feedback</i>	99
5.2.6	<i>Sexto Feedback</i>	101
5.2.7	<i>Sétimo Feedback</i>	102
5.2.8	<i>Oitavo Feedback</i>	103
5.3	<i>Comentários adicionais</i>	104

CAPÍTULO 6	105
6 ANÁLISE DE CENÁRIOS FUTUROS	106
CAPÍTULO 7	112
7 CONCLUSÃO	113
REFERÊNCIAS	115

UM ESTUDO DO MERCADO INTERNACIONAL DE
CRÉDITOS DE CARBONO À LUZ DA ABORDAGEM *SOFT* DA
DINÂMICA DE SISTEMAS.

Aluno: João Carlos Nascimento Alcantara

Orientador: Amarildo da Cruz Fernandes, D.Sc.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Os preços da tonelada de carbono no mercado internacional são hoje considerados um dos instrumentos importantes para o controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Embora venha sendo constatado nos dias atuais uma significativa queda de preços nos mercados especializados, ressalta-se que no mês de junho de 2008 na Bolsa Francesa BLUENEXT, a maior da Europa em transações com carbono até 31/12/2012, a tonelada de carbono equivalente segundo o banco de dados disponibilizado na página Internet da mencionada bolsa francesa¹ atingiu, no mercado à vista, o valor de €27,03 (vinte e sete Euros e três centavos). Em contrapartida, no mês de agosto de 2012, o preço da tonelada na mesma bolsa caiu para € 7,55 (sete Euros e cinquenta e cinco centavos). Esta redução significativa de preços é decorrente do efeito de inúmeras variáveis que afetam por vezes os preços do carbono, como, por exemplo, o nível da atividade econômica em países desenvolvidos, as decisões decorrentes das discussões anuais sobre mudanças climáticas (as Conferências das Partes, resultantes de Quioto - 1997); o nível de eficiência energética alcançados pelos países de maiores economias do planeta; leilões de carbono promovidos periodicamente por governos europeus, particularmente os do Reino Unido e da Alemanha, buscando a fixação de um preço sombra para esta commodity ambiental. Podem-se citar também como fatores que influenciam os preços do carbono, as baixas temperaturas registradas por longos períodos em países da Comunidade Europeia no inverno, uma vez que aumenta a já enorme quantidade de uso do carvão mineral para aquecimento e, portanto, causando maiores emissões de GEE para a atmosfera. Tais variáveis dentre outras, serão apresentadas e discutidas neste trabalho.

No que tange ao nível das atividades econômicas pode-se afirmar que a retração atual da economia, nos principais mercados mundiais – o americano, o japonês, e o europeu - iniciada ao final do ano 2008 com o pedido de concordata da empresa Lehman Brothers², nos Estados Unidos, a chamada “crise das *subprimes*” - a redução de preços dos

¹ Até 31/12/2012, disponível em: <http://www.bluenext.eu/publications/tendances.html>. Acesso em 03/09/2012.

² Lehman Brothers Holdings Inc. foi um banco de investimentos e provedor de outros serviços financeiros, com atuação global, sediado em Nova Iorque. Era uma empresa de serviços financeiros que até declarar concordata em 2008, fazia negócios no ramo de investimentos de capital, venda de papéis de renda fixa, negociação e gestão. Seu negociante principal era o tesouro americano, principalmente no mercado de valores mobiliários. O Lehman Brothers era considerado um dos maiores operadores de empréstimos a juros fixos de Wall Street e havia investido fortemente em títulos ligados ao mercado do chamado “*subprime*” - o crédito imobiliário para pessoas consideradas com alto risco de inadimplência. Na empresa trabalhavam 10.000 empregados. Fonte: <http://www.lehman.com/>. Acesso em 10/06/2012.

créditos de carbono (ou certificados de carbono), se fez sentir no médio prazo – uma vez que uma menor produção industrial, resultante de recessão econômica, significa menores emissões de carbono, e, portanto, maior facilidade no cumprimento das metas de emissões fixadas pelos órgãos reguladores no âmbito do sistema *cap-and-trade*, que vem a ser um sistema regulatório de emissões de GEE utilizado na Comunidade Europeia desde o ano de 2005 e em alguns outros países em anos posteriores (CARBONE, 2012).

Ao mesmo tempo, como toda *commodity*, o preço do carbono no mercado é regulado pela oferta e pela procura que são registradas ao longo do período de tempo examinado. Por outro lado, tanto a oferta quanto a procura pelos certificados de carbono, sofrem a influência de uma série de variáveis que, direta ou indiretamente, acabam por influenciar estes preços no mercado internacional.

Atualmente existem dois grandes mercados mundiais negociando carbono: o voluntário e o regulado. O primeiro é feito por países e empresas que não têm obrigação, segundo estabelecido em QUIOTO (1997), de reduzirem as suas emissões de CO₂, como é o caso do Brasil. O segundo mercado, o regulado, existe para países e empresas que são obrigados a reduzir os níveis de suas emissões e para os quais o não cumprimento da meta implica em diversas restrições, como o pagamento de multas ou das chamadas “taxas de emissão” para os agentes reguladores nacionais.

O maior mercado regulado de carbono no mundo é o “*European Union Emissions Trading System*” (EU ETS), ou, na nossa língua, Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia, que começou a operar em 01 de janeiro de 2005. O regime pretendia limitar as emissões de CO₂ na Comunidade Europeia, e em seguida distribuir permissões (*allowances*) aos grandes consumidores de energia elétrica da comunidade. Uma permissão (EUA), por convenção, é igual a uma tonelada métrica de CO₂e (tCO₂e). Este assim chamado “direito de poluir”, é uma autorização que pode, a critério da empresa beneficiária, ser negociada nos mercados financeiros. A oferta de licenças é definida por um limite (*cap*), e a demanda por licenças depende do nível de emissões de CO₂ na Europa em um dado ano, uma vez que, internamente, no bojo da comunidade europeia, havia o compromisso de seus integrantes de ultrapassar os compromissos oficiais assumidos em Quioto, ou seja, ao invés de reduzirem as suas emissões em 5,02% em relação aos níveis de 1990 até fins de 2012, fazê-lo em até 8% no mesmo período (ELLERMAN *et al.*, 2010).

Em fins de 2009, o valor total do mercado de carbono na Europa havia crescido para €103 bilhões, com 8,7 bilhões de toneladas de CO₂ sendo transacionadas, representando, na época, mais de 95% do valor total do carbono comercializado em escala mundial (KOSSOY & AMBROSI, 2010).

O Brasil teve o seu primeiro leilão de créditos de carbono levado a efeito, no mercado voluntário, em 26 de setembro de 2007. Este leilão foi realizado pela Bolsa Mercantil e de Futuros da Bolsa de Valores do Estado de São Paulo (BM&F BOVESPA). Foram negociados créditos correspondentes a 808.450 tCO₂e, de titularidade do Município de São Paulo (SP), créditos estes que foram gerados pelo Aterro Sanitário Bandeirantes, sítio que aproveita o metano gerado pelo lixo ali acondicionado, para gerar energia elétrica. Um banco europeu arrematou o lote por €16,20 a tonelada de carbono, pagando pelo negócio o equivalente a €13,09 milhões. Na ocasião, catorze instituições foram habilitadas para o leilão, com nove delas apresentando lances. O preço mínimo da tonelada foi fixado no edital correspondente em €12,70 (BOVESPA, 2008).

Por conta destes números, o valor da tonelada de carbono tem despertado cada vez mais no mercado financeiro internacional, um crescente interesse em se modelar este importante e relativamente novo ativo financeiro, tanto para previsões no mercado à vista, quanto para previsões no mercado futuro.

Como em qualquer mercado de *commodities*, espera-se que certos elementos fundamentais (*price drivers*) exerçam o seu papel para explicar alterações de preços. No entanto, a lista exata dos *drivers* de preços e a magnitude de seus impactos sobre o preço do carbono, na opinião de muitos autores, ainda não é muito clara. Além disto, ao contrário de outros mercados de *commodities* ao redor do mundo, o mercado de carbono europeu é determinado fundamentalmente pelo cumprimento de obrigações por parte das empresas reguladas pela EU ETS.

A quantidade de licenças a serem emitidas é limitada e definida periodicamente pela Comissão Europeia (CE) de acordo com as emissões que forem mensuradas no período (ELLERMAN *et al.*, 2010). A CE também controla as transações entre as empresas reguladas bem como as dimensões do programa, seja através do número de participantes, seja pela quantidade de licenças emitidas. Além do mais, estes critérios de

distribuição de *allowances* e outras medidas tomadas no âmbito do Sistema de Comércio de Emissões Europeu foram diferentes em sua primeira fase, Fase 1 (2005 a 2007), na Fase 2 (2008 a 2012), e na atual Fase 3 (2013 a 2020).

Os resultados alcançados por este estudo foram conseguidos com a apresentação de uma modelagem de toda a problemática que envolve a precificação do preço do carbono, nele incluídas as suas variáveis endógenas e exógenas, assim como com ênfase nos quatro pilares que sustentam o conceito de sustentabilidade as questões ambientais, energéticas, econômicas e sociais - tudo com base no pensamento sistêmico, e na Dinâmica de Sistemas desenvolvida por Forrester (1961), culminando com a montagem de um Diagrama de Enlace Causal (DEC) e discutindo as principais relações de causa e efeito nele identificadas.

1.2. *Objetivos*

Este trabalho acadêmico tem como objetivo geral analisar a dinâmica de preços dos certificados de carbono no mercado internacional, principalmente no maior desses mercados, o europeu, à luz da modelagem *soft* da Dinâmica de Sistemas e a partir da construção de um modelo sistêmico que busca representar um conjunto de relações de causa e efeito, determinantes do comportamento dos preços do carbono neste mercado.

1.2.1 *Objetivos Específicos*

- Investigar os preços da tonelada de carbono ao longo do tempo através do banco de dados da Bolsa BLUENEXT especializada em compra e venda de créditos de carbono, estando esta Bolsa localizada em Paris (França);
- Investigar dados de produção, importação e de exportação das *commodities* fósseis mais negociadas no mundo, por país, junto às publicações oficiais anuais da Agência Internacional de Energia (AIE);
- Investigar a importância do petróleo, do carvão mineral e do gás natural como fonte de geração de energia elétrica na economia mundial, com base em fontes confiáveis;
- Investigar dados contidos nas chamadas “Comunicações Nacionais” encaminhadas pelos diversos países para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC), no que se refere aos níveis de eficiência energética alcançados; e

- Construir um modelo (Diagrama de Enlace Causal), com base em FORRESTER (1961), onde as variáveis que influenciam os preços do carbono estejam incluídas, assim como, demonstrar seus efeitos em relação ao todo (ao sistema) desenhado.

1.3 *Justificativas para o Estudo*

As mudanças climáticas que têm sido sentidas em todas as regiões do planeta nos últimos 150 anos têm sido objeto de profundas preocupações por parte da comunidade científica, da sociedade como um todo, e de líderes políticos, ao redor do mundo. A ocorrência de calores extremos, de invernos cada vez mais rigorosos em regiões onde antes os dois fenômenos eram atípicos, provocando a morte de inúmeras pessoas e perdas patrimoniais, o derretimento das geleiras do Ártico e da Antártica, com o consequente aumento do nível dos oceanos, o registro de furacões com alto poder de destruição e em número cada vez maior, em diversas regiões do mundo, a ocorrência de secas e de enchentes em regiões onde antes nada disso vinha sendo registrado com tanta intensidade como nos tempos atuais, está levando a humanidade a encarar seriamente o desafio de conter o avanço das mudanças climáticas e os prejuízos que elas podem trazer para a vida no planeta.

É praticamente consenso dentro da comunidade científica que o consumo desenfreado de combustíveis fósseis a partir do advento da Revolução Industrial na Europa em fins do Século XVIII, e a invenção e a popularização do automóvel no limiar dos anos vinte do século passado, foram e continuam sendo os grandes responsáveis pelo aquecimento da temperatura média do planeta, assim como pelas calamidades que vêm sendo registradas nos últimos tempos.

Um fenômeno natural, batizado de efeito-estufa, responsável através dos séculos pela manutenção da temperatura média da Terra em torno dos 15° C, vem tendo a sua intensidade aumentada ao longo dos anos pelas emissões dos gases provenientes das atividades antrópicas, principalmente aquelas que fazem uso intensivo de carvão, de petróleo e de seus derivados, além das queimadas e dos desmatamentos de florestas, principalmente para extração ilegal de madeira ou para atividades agropastoris.

Por sua vez, é notório que o aquecimento global impõe à comunidade científica e aos líderes políticos estudá-lo com a adoção de uma visão sistêmica, uma vez que independentemente do país ou dos blocos econômicos responsáveis pelas emissões de GEE,

os registros dessas emissões, embora localizados e diferenciados em intensidade em todos os continentes, afetam o planeta como um todo, uma vez que a atmosfera é uma só, sendo, portanto, todos os países responsáveis pelo cuidado e pelas ações preventivas que este problema global demanda.

Em termos históricos, a Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, na Suécia, com a participação de cento e treze países e mais de quatrocentas organizações governamentais e não governamentais, pode ser considerada a primeira providência em escala mundial para tentar organizar as relações do homem com o meio ambiente com base em uma visão sistêmica. Na capital da Suécia, a sociedade científica já detectava graves problemas futuros em razão da poluição atmosférica provocada pelas ações antrópicas.

No que se refere diretamente ao aquecimento global, uma das primeiras providências efetivas tomadas pelos tomadores de decisão em nível de Governos foi a criação, em 1988, de um núcleo de estudos internacionais tendo como papel principal dar suporte científico às possibilidades de mudanças climáticas globais, principalmente aquelas provenientes das atividades humanas, como o problema do efeito-estufa e o da proteção da camada de ozônio que envolve o planeta.

Este núcleo de estudos foi batizado como Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*). A partir de sua criação, o IPCC, com base em modelos diversos, vem divulgando para o mundo relatórios periódicos sobre o aquecimento global, relatórios estes que passaram a ser tomados como base importante para decisões intergovernamentais sobre os caminhos que deveriam ser tomados em busca de uma economia global de baixo carbono.

Com efeito, vinte anos após a Conferência de Estocolmo, foi realizada no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD (Rio-92). Reuniram-se entre os dias 3 a 14 de junho de 1992, mais de cento e vinte Chefes de Estado, e representantes, perfazendo um total de mais de cento e setenta países. Ao término da conferência haviam sido debatidos e acordados o texto de cinco documentos, enfim assinados pelos Chefes de Estado presentes e representantes: (i) a Declaração do Rio; (ii) a Agenda 21; (iii) a Convenção sobre a Diversidade Biológica; (iv) a Convenção sobre Mudanças do Clima; e (v) a Declaração de Princípios da Floresta.

No que se refere especificamente ao quarto item da CNUMAD, a Convenção sobre Mudanças do Clima, posteriormente batizada de Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (do inglês: *United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*), a intenção desse tratado internacional foi o de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera a um nível que pudesse prevenir a interferência perigosa das ações antrópicas no sistema climático do planeta.

A Convenção-Quadro, já àquela época, definia que a partir de 1995 seriam realizadas reuniões anuais dos países-membros da ONU – reuniões essas batizadas de “Conferências das Partes” (*Conferences of the Parties - COPs*) - para se avaliar os progressos das negociações governamentais visando o combate das mudanças climáticas.

Até a data de conclusão deste trabalho já haviam sido realizadas, sucessivamente, a cada ano, 18 (dezoito) COPs ao redor do mundo, sejam para debates, decisões e/ou fechamento de acordos envolvendo a questão climática: COP-1 (1995 - Berlim, Alemanha), COP-2 (1996 - Genebra, Suíça), COP-3 (1997- Kyoto, Japão), COP-4 (1998 - Buenos Aires, Argentina), COP-5 (1999 - Bonn, Alemanha), COP-6 (2000 – Haia, Holanda), COP-7 (2001 – Marraqueche, Marrocos), COP-8 (2002 - Nova Déli, Índia), COP-9 (2003 - Milão, Itália), COP-10 (2004 - Buenos Aires, Argentina), COP-11 (2005 – Montreal, Canadá), COP-12 (2006 – Nairóbi, Quênia), COP-13 (2007 - Bali, Indonésia), COP-14 (2008 – Polsnan, Polônia), COP-15 (2009 – Copenhagen, Dinamarca), COP-16 (2010 – Cancún, México), COP-17 (2011 - Durban, África do Sul), e COP-18 (2012 – Doha, Qatar).

Pode-se afirmar que todas as COPs mencionadas no parágrafo precedente tiveram sua importância nos debates e nas providências que seriam tomadas em sequência, pelos países-membros, mas nenhuma delas até o momento teve importância tão grande para a criação de um mercado de carbono, como a COP-3, realizada em 1997, na cidade de Quioto, Japão.

Como resultado relevante da COP-3, foi adotado um tratado internacional (QUIOTO, 1997), onde, com base em inventários de emissões de dióxido de carbono, tendo como ano base 1990, cada país desenvolvido (listado como País Anexo I de Quioto) se comprometeu a reduzir as suas emissões de GEE em 5,2%, a contar do início da sua vigência,

até o final do ano de 2012, período este que passou a ser conhecido como “Primeiro Período de Compromissos” de Quioto.

Quioto também reconheceu por unanimidade, que os países desenvolvidos foram os maiores responsáveis pelo aquecimento global, e por conta disto os países em desenvolvimento (classificados como Países Não-Anexo I) não tiveram metas de redução de emissões a serem cumpridas.

Posteriormente, este reconhecimento de que os países desenvolvidos foram os maiores responsáveis pelo aquecimento global, acordado em Quioto, embora mantido nos dias atuais, vem sofrendo pressões dos países listados no Anexo I para que países não listados neste anexo - principalmente os considerados emergentes – passem também a estabelecer metas internas de redução de emissões, principalmente em virtude do quadro caótico que os relatórios emitidos pelo IPCC vêm divulgando sobre as consequências do aquecimento global para os próximos anos.

Dentre os países de maiores economias que foram listados em Quioto como “Países Não-Anexo I”, estão o Brasil, a Rússia, a Índia, a China e a África do Sul, conjunto de cinco países cujas letras iniciais do nome dos quatro primeiros, acrescido da letra S de Sul, retirada do nome do quinto deles (África do Sul) deram origem a sigla BRICS, hoje utilizada amplamente pela comunidade internacional para se referir ao conjunto formado por estes cinco países com economias consideradas mais emergentes.

A China, hoje o maior emissor de GEE do planeta, segundo o portal G1 Natureza (2012)³ informava em 22/07/2012, resiste em formalizar por meio de acordos internacionais metas internas de emissões, sendo este país considerado atualmente o maior entrave nas negociações internacionais, para que, por exemplo, os Estados Unidos venham a aderir a tratados internacionais com validade jurídica para redução de suas emissões de GEE.

E o quadro atual de emissões provocadas pelas emissões antrópicas é por demais desolador. Segundo o mesmo portal informava na notícia publicada no dia 22/07/2012, as emissões globais de dióxido de carbono tiveram um aumento de 3% em 2011

³ Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/07/emissoes-de-dioxido-de-carbono-em-2011-aumentaram-3-aponta-estudo.html>. Mesma informação também disponibilizada em: http://meioambientesaude.blogspot.com/2012_07_01_archive.html. Acesso de ambas as páginas em 29/07/2012.

em comparação ao ano anterior, atingindo uma alta recorde de 34 bilhões de toneladas, de acordo com estudo feito por um centro de pesquisa da Comissão Europeia e pela Agência de Avaliação Ambiental dos Países Baixos. Ainda segundo tais relatórios, a China teve um aumento de 9%, chegando a 7,2 toneladas per capita. Com isso, o país entrou na faixa em que estão os principais países industrializados.

A União Europeia, por sua vez, viu suas emissões caírem 3%, contabilizando 7,5 toneladas em 2011. O desaquecimento da economia e um inverno ameno estão entre os motivos para a queda. O Japão e EUA tiveram reduções de 2% cada um. Ainda assim, os Estados Unidos seguem sendo um dos países com maiores *pegadas de carbono* (emissões de GEE por habitante), com média de 17,3 toneladas, apesar da crise iniciada em 2008, e da subida de preços do petróleo e do gás.

Segundo o mesmo portal de notícias naquela data, as emissões dos países ricos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) passaram a representar apenas um terço do total global - o mesmo volume de China e Índia somadas. A Índia teve alta de 6% em 2011. O crescimento da China levou a aumento significativo no consumo de combustíveis fósseis no país. A construção civil e a ampliação de infraestrutura estão entre os fatores que impulsionam essa alta. O crescimento da produção de aço e cimento fez o consumo doméstico de carvão no país asiático aumentar 9,7% em 2011.

Os principais contribuintes para os 34 bilhões de toneladas de CO₂ emitidos mundialmente em 2011 foram: China (29%), Estados Unidos (16%), União Europeia (11%), Índia (6%), da Federação Russa (5 %) e Japão (4%). Por conta dessas emissões, somadas, um total de 420 bilhões de toneladas de dióxido de carbono foi emitida entre 2000 e 2011, devido às atividades humanas, incluindo o desmatamento.

A literatura científica sugere que a limitação do aumento da temperatura média global a 2° C acima dos níveis pré-industriais - meta vigente, adotada nas negociações climáticas das Nações Unidas - só será possível se as emissões no período 2000-2050 não excederem 1 trilhão a 1,5 trilhão de toneladas. Se a atual tendência mundial de aumento das emissões de CO₂ se mantiver, elas devem superar esse limite dentro das próximas duas décadas, ou seja, por volta de 2020.

A Figura 1 apresenta a correlação entre o aumento das emissões de GEE para a atmosfera e o aumento da temperatura do planeta desde fins do Século XVIII até o final do ano 2010, segundo AIE (2013), com base em dados sobre temperatura da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA)⁴ e sobre concentração de GEE na atmosfera do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)⁵, ambas as instituições localizadas nos Estados Unidos.

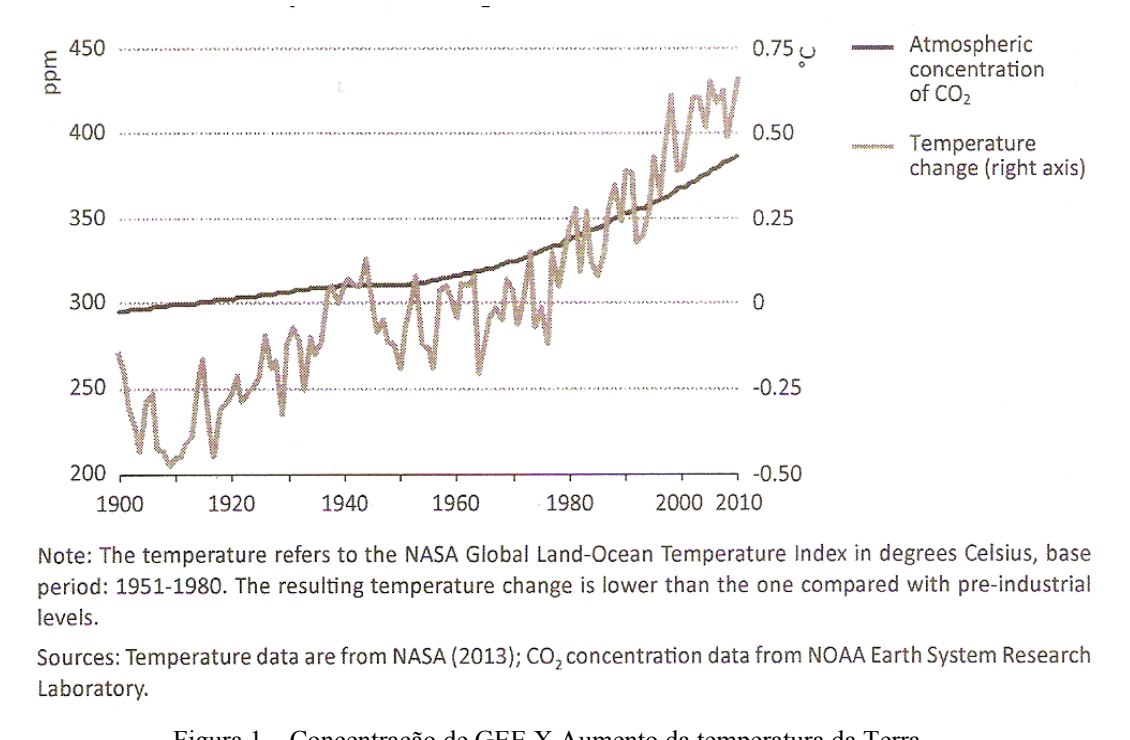


Figura 1 – Concentração de GEE X Aumento da temperatura da Terra

Fonte: Extraído de AIE (2013).

Outro trabalho de destaque nos meios acadêmicos e na própria mídia, publicado nos últimos anos sobre a questão das emissões de GEE e sua correlação com as mudanças climáticas, foi o “Relatório Stern” (STERN, 2007). Neste trabalho, vários dados importantes foram divulgados sendo considerado o primeiro documento importante elaborado por um profissional de economia tecendo considerações sobre as causas e consequências das mudanças climáticas e sua correlação com o aumento da temperatura do planeta. Um dos principais argumentos apresentados nas conclusões do Relatório Stern foi o de que o risco dos piores efeitos das mudanças climáticas poderia ser substancialmente reduzido se os níveis de concentração de GEE na atmosfera fossem estabilizados entre 450 e 550 partes por milhão (ppm).

⁴ Página na Internet disponível em: <http://www.nasa.gov/>. Acesso em 10/04/2013.

⁵ Página na Internet disponível em: <http://www.noaa.gov/>. Acesso em 10/04/2013.

Segundo Stern (2007) o nível de CO₂ na atmosfera no ano 2006 já atingira 430 ppm, e a concentração de GEE na atmosfera estava crescendo a cada ano em mais de duas partes por milhão. Ainda segundo as conclusões daquele estudo, uma estabilização da concentração de GEE entre 450 e 550 ppm requereria uma queda de 25% até 2050, em relação às emissões registradas em 2005.

Em última análise, para que a concentração de GEE na atmosfera se mantivesse na faixa pregada no relatório mencionado, entre 450 e 550 ppm, as emissões anuais globais precisariam ser reduzidas em 80% abaixo dos níveis atuais.

O Relatório Stern ainda estimou que se no transcorrer do ano de divulgação do próprio relatório fossem tomadas ações mais contundentes por parte dos governos visando estabilizar a concentração de CO₂ na atmosfera entre 500 e 550 ppm, os custos anuais desta gigantesca empreitada corresponderiam apenas cerca de 1% a 2% do PIB mundial.

Por sua vez em Quioto⁶, conforme já mencionado neste texto, um dos resultados dos acordos firmados na Terceira Conferência das Partes (COP- 3), trinta e sete países (Partes do Anexo I - países desenvolvidos), se comprometeram que até o ano final do ano 2012 - término do primeiro período de compromissos - a reduzirem as suas emissões de GEE e de dois outros grupos de gases não naturais produzidos pelo homem (hidrofluorcarbonos e perfluorcarbonos), no percentual de 5,2% em relação ao volume por eles emitido em 1990 (QUIOTO, 1997).

Desde a criação do mercado de carbono, a partir das discussões e dos acordos firmados pelos países que ratificaram o Protocolo, o que se pretendia que ocorresse no mercado mundial, na visão dos tomadores de decisão, era de que em sendo os custos de abatimento (custos envolvidos para se fazer mudanças de tecnologia visando a redução de emissões de GEE para a atmosfera), maiores do que os preços de compra de certificados de carbono, estes se tornariam financeiramente atraentes (mais baratos) para os empresários, do que se fossem investir em mudanças de tecnologias ou em eficiência energética que pudessem

⁶ O Protocolo de Quioto, embora tenha sido adotado em 11 de Dezembro de 1997, somente entrou em vigor em 16 de Fevereiro de 2005, quando foi registrada pela UNFCCC a ratificação do mesmo pela Federação Russa. Este registro, fez com que as emissões de dióxido de carbono alcançassem 55% do total das emissões levantadas em 1990, pelas partes incluídas no Anexo I, condição *sine qua non* para que o mesmo entrasse em vigor.

tornar a produção das indústrias menos poluentes e mais eficientes ((ELLERMAN *et al.* (1998a) e ELLERMAN *et al.*(1998b)).

De fato, segundo os mesmos autores, nos idos de 1997 (tempos da COP-3), os custos de abatimento das emissões no Japão, por exemplo, poderiam chegar a US\$584.00 por tonelada de carbono, ao passo que nos Estados Unidos este mesmos custos atingiriam US\$186.00, e na Comunidade Europeia, US\$273.00. Nesses países seria muito melhor, em termos financeiros, comprar créditos de carbono no mercado internacional, do que investir em eficiência energética ou em tecnologias para abatimento das suas emissões de GEE.

Os mecanismos de flexibilização de Quioto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e o de Implementação Conjunta (IC), foram classificados como mecanismos baseados em projetos, porque eles poderiam gerar redução de emissões a partir de projetos específicos, e que a única diferença existente entre o Comércio Internacional de Emissões (CIE) com suas *allowances* - também criado por Quioto - e os dois mecanismos baseados em projetos, é que o CIE foi baseado em uma configuração restritiva de emissões (sistema *cap-and-trade*), ao passo que projetos MDL e os de IC foram baseados na ideia de que ambos produziram redução de emissões, embora o MDL tenha sido desenhado para incentivar a redução de emissões em países não-Anexo I (em desenvolvimento), e os de IC para países listados no Anexo I (desenvolvidos). (TOTH *et al.*, 2001)

Todos os três mecanismos citados no parágrafo precedente, o MDL, o IC, e o CIE, forneceram as premissas básicas para a criação de mercados de carbono ao redor do mundo, onde até mesmo em algumas regiões dos Estados Unidos – país que não ratificou Quioto - já possuem mercados especializados, e onde a redução de emissões de carbono é livremente negociada.

Embora diversos mercados de carbono tenham sido criados ao redor do mundo, o da comunidade europeia é o principal mercado de carbono do mundo e o que vem apresentando relativo sucesso na redução das emissões de CO₂e por parte dos seus países-membros. Na verdade, nenhum país que ratificou Quioto conseguiu alcançar as metas compromissadas até o final do seu primeiro de compromissos (dezembro de 2012), razão pela qual tenha sido o mencionado protocolo, prorrogado até 2020, segundo as negociações finalizadas na Conferência do Clima (COP-18) realizada em Doha, no Qatar.

Portanto, pode-se concluir que a comercialização de carbono ainda é e será, tanto no médio quanto no longo prazo, na opinião de inúmeros especialistas, um dos poucos instrumentos de compensação de emissões existentes no mercado mundial visando controlar a concentração de GEE na atmosfera, como também para permitir o alcance das metas fixadas para as indústrias e demais empresas carbono-intensivas reguladas pelo sistema *cap-and-trade*, tendo por si, enfim, se transformado em uma das poucas alternativas à disposição da humanidade para evitar os chamados eventos climáticos extremos, com alto poder de destruição, conforme vem sendo previsto pelo IPCC (2007), e devidamente acatado pela grande maioria da comunidade científica internacional.

Furacões do tipo Katrina e Sandy, que nos últimos tempos levaram à destruição de bens patrimoniais e de inúmeras vidas humanas, particularmente na região do Caribe e nos Estados Unidos, são recentes exemplos da ocorrência de desastres ambientais que confirmam - embora com alguma resistência de certas lideranças políticas mundiais e também de cientistas em menor número - as previsões pessimistas dos cientistas do IPCC.

Finalmente, o presente estudo se justifica na medida em que desde o acordo internacional sobre as mudanças no clima da Terra, que redundou no Protocolo de Quioto, e com a consequente formação de mercados especializados ao redor do mundo, o preço da tonelada do carbono se transformou em um importante indicador para a formulação de políticas públicas internas e externas voltadas para a mitigação das consequências provocadas pelas mudanças climáticas pelos governos de diversos países, seja por meio de ações internas isoladas ou mesmo em conjunto, como se verifica, neste último caso, o mercado de carbono em atualmente em operação na zona do Euro.

1.4 *Delimitação do Estudo*

Neste estudo foi admitido que não seria uma boa medida iniciar esta pesquisa sem delimitar o que está sendo levado em consideração, sendo importante destacar um conjunto de premissas e de limites que foram impostos a este trabalho. Assim, este esforço acadêmico foi delimitado pela falta de um maior interesse por parte de pesquisadores em aplicar, para o mercado de carbono, os conceitos e as ideias do pensamento sistêmico usando como abordagem a modelagem *soft* da Dinâmica de Sistemas (DS), prevalecendo, em sua grande maioria, como demonstra a bibliografia listada ao final deste trabalho, estudos macroeconômicos, econométricos, análises gráficas, meteorológicas, dentre outras, em

tentativas para se projetar os preços da tonelada de carbono com base em variáveis diversas, o que, na verdade, em todas elas, se percebe que acabaram por não englobar o universo real que envolve a dinâmica de preços do carbono, segundo a visão de sistemas ensinada por Smuts (1926), por Forrester (1961), por Christofolletti (1999), e por Senge (2010), dentre outros.

Assim sendo, com base na delimitação enfrentada, este trabalho compreenderá os métodos empregados para a modelagem *soft* da Dinâmica de Sistemas, culminando com a apresentação de um Diagrama de Enlace Causal (DEC), baseado em Forrester (1961), incluindo as variáveis que influenciam, segundo a literatura, os preços do carbono em termos globais. Em seguida, em sua parte final, serão comentados os efeitos dessas variáveis em relação ao todo (ao sistema) desenhado, no médio e no longo prazo, com enfoque nos comportamentos da sociedade seja convivendo com o chamado “*business as usual - BAU*” ou com uma economia de baixo carbono.

No próximo capítulo serão discutidos os fundamentos teóricos e empíricos que serviram de alicerce para a realização deste trabalho.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E EMPÍRICOS DO ESTUDO

A precificação do carbono nos mercados internacionais teve o seu início baseada em determinadas regras já utilizadas no mundo real, e como se tratava de um mercado totalmente novo, algumas experiências já registradas no mundo capitalista ocidental também foram utilizadas pelos seus agentes, no sentido de pôr em prática o comércio internacional de emissões acordado em QUIOTO (1997).

Dentre as opções então existentes, além das negociações de certificados de redução de emissões de carbono em bolsas de valores, cujos preços seriam determinados pelo mercado, com base simplesmente na oferta e na procura, o preço do carbono também passou a ter como parâmetro em alguns países o preço-sombra⁷ sinalizado pelos respectivos governos ao promoverem leilões de carbono e/ou critérios para a taxação das emissões (*emissions fees*), estabelecendo indiretamente um preço mínimo de venda por tonelada de carbono equivalente, ou ainda, pela adoção pura e simples de um sistema *cap-and-trade* por seus agentes reguladores, e passaram com tais medidas de comando-e-controle, principalmente com a última, a regular a oferta de créditos de carbono no mercado, visando à redução das emissões dos países-membros, caso específico da Comunidade Europeia.

Serão discutidas em seguida as três formas de comando-e-controle que são frequentemente empregadas por parte dos agentes reguladores ao redor do mundo, como os leilões de carbono, a taxação das emissões, e o funcionamento do *sistema cap-and-trade*, todos usados tanto como tentativa de redução das emissões de GEE em seus territórios quanto para fixação de um preço sombra para o carbono.

⁷ O preço-sombra, em economia, corresponde ao custo de oportunidade de uma atividade, e que pode também ser considerado, por alguns autores, como sendo o verdadeiro preço econômico de uma commodity ambiental. O preço sombra também pode ser calculado para bens e serviços que não tenham um preço de mercado, por exemplo, serem fixados por um governo. São usados para análises custo/benefício abrangendo todas as variáveis de decisão, existindo ou não, preços de mercado para cada uma dessas variáveis.

2.1 Leilões de Carbono

Até o momento da finalização deste trabalho apenas os governos da Alemanha e do Reino Unido têm se utilizado da prática de promover leilões periódicos de certificados de carbono visando estabelecer preços-sombra para essa *commodity* intangível. A cada seis meses, em média, cada um deles promove leilões em bolsas especializadas da Europa visando sinalizar ao mercado quais são os preços mínimos, justos, que entendem valer a tonelada de carbono equivalente evitada. Esses preços mínimos tem o efeito de aumentar ou de reduzir os preços dos certificados de carbono em mãos dos investidores, dependendo do desempenho da atividade econômica e/ou do nível de emissões registradas na zona do Euro (caso da Alemanha), ou, especificamente, das condições específicas do Reino Unido, que dispõe de uma política ambiental das mais avançadas do mundo. (ELLERMAN *et al.*, 2010).

A cada leilão promovido por um desses dois países, independentemente do preço alcançado pela tonelada de carbono, mais certificados serão colocados no mercado, e, por conseguinte, maior oferta de créditos de carbono estará à disposição daqueles que deles necessitem para cumprir as metas de emissão fixadas pelos agentes reguladores, reduzindo desta forma os preços da *commodity* para aqueles que já as têm entesouradas seja para investimento, seja para compensação.

2.2 Taxação das Emissões

Uma forma com que a emissão de poluentes pode ser controlada é através da taxação. Países como a Austrália, França, Nova Zelândia, Dinamarca, Finlândia, Holanda, Suécia, Reino Unido, Noruega, Suíça, Costa Rica, Canadá e Estados Unidos, vêm discutindo internamente a implantação de taxas (*fees*) por emissões de carbono, em vários estados localizados em seus territórios e até mesmo a implantação de tais taxas no país inteiro por meio de legislação federal (ELLERMAN *et al.*, 2010).

Estas taxas nada mais são do que a colocação em prática das ideias de Pigou (1920), que por este trabalho ficou conhecido como o criador do chamado “*Princípio do Poluidor-Pagador*”, princípio este que, como o próprio nome indica, considera que o poluidor é quem deve pagar pela poluição que vier a produzir.

De acordo com este autor, para o controle da escassez dos recursos naturais do planeta, seria necessária à cobrança de uma taxa ao poluidor de forma que o valor desta

taxa ao menos se iguale ao montante do custo marginal da poluição adicional que este poluidor impôs ou impõe à sociedade. Como consequência, o fabricante de um produto, por exemplo, passaria a assumir o total dos custos de sua produção pelo pagamento de uma taxa pré-fixada pelo Estado, podendo esta taxa ser considerada como o verdadeiro preço-sombra⁸ da poluição, o que, no que se refere aos GEE, seria o preço de uma tonelada de carbono equivalente, emitida para a atmosfera, por determinada indústria.

Segundo o “*Department of Climate Change and Energy Efficiency*” (DCCEE) do Governo da Austrália (em tradução livre, Departamento de Mudanças Climáticas e de Eficiência Energética)⁹, teve início naquele país em 1º de julho de 2012, a taxa, em dólares australianos (A\$), de A\$ 23/tCO_{2e}, aproximadamente. €18,00 por tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) emitida pelas indústrias locais. Esta taxa irá vigorar até 2015, quando entrará em vigor um sistema *cap-and-trade* para as emissões, com previsão de taxa mínima de A\$ 15/tCO_{2e} (aprox. €11,70/tCO_{2e}), taxa esta ainda sujeita à regulamentação pelo governo.

De acordo com Siriwardana *et al.* (2011), essa taxa por emissão de carbono no valor de A\$23/tCO_{2e}, a ser cobrada das indústrias carbono-intensivas locais, será responsável por um declínio no curto prazo de 0,68% no PIB do país. Adicionalmente, o índice de preços ao consumidor (inflação) poderá aumentar em até 0,75%, e o preço da eletricidade subir aproximadamente 26%. No entanto, segundo os mesmos autores, a cobrança desta taxa ambiental irá reduzir substancialmente as emissões de GEE do país para algo em torno de 12%, apenas no primeiro período de cobrança.

Diversos países da OCDE também taxam diretamente, embora tão somente, os combustíveis utilizados em transportes, como mais uma medida alternativa ao mercado de carbono. Os primeiros países a adotar esta taxa, no início dos anos 90, foram a Finlândia, a Noruega, a Suécia, os Países Baixos e a Dinamarca. No final daquela mesma década, outros países adotaram a mesma medida: Itália, Alemanha, Reino Unido, Nova Zelândia, Estados Unidos e Canadá (AGUIAR, 2009).

⁸ Vide Nota de Rodapé nº 5.

⁹ Disponível em <http://www.climatechange.gov.au/en/government/reduce/carbon-pricing.aspx>. Acesso em 12/07/2012.

A Noruega introduziu a sua taxa de carbono em 1991, abrangendo os derivados do petróleo, gasolina e diesel. Mesmo com o preço mais caro dos combustíveis e com quase a totalidade da demanda por eletricidade naquele país sendo suprida por fontes hídricas, o comportamento da população norueguesa não mudou, e as emissões de GEE ainda assim cresceram. A meta do Governo da Noruega é cortar em 30% as emissões de CO₂ até 2020, com base nos níveis de 1990.

Por conta disto o orçamento norueguês para 2013 mostra que o país quase dobrará suas taxas sobre as emissões de CO₂ do setor petrolífero. A cobrança sobre a indústria de petróleo *offshore* passará para US\$ 72,16 por tonelada em 2013. O setor pesqueiro também terá uma nova taxa de US\$ 8,8/t.

O aumento na arrecadação norueguesa servirá para ampliar o direcionamento de recursos para a preservação das florestas tropicais. No próximo ano, o país pretende empregar US\$ 528 milhões, um aumento de US\$ 70 milhões, para proteger áreas florestais, inclusive na Amazônia brasileira.

Em janeiro de 2012, também entrou em vigor na Comunidade Europeia legislação que obriga as companhias aéreas que operam na região, independentemente de suas nacionalidades a pagarem uma taxa de carbono equivalente a 15% de suas emissões de CO₂, que corresponde a 32 milhões de toneladas. Mais de 20 países, incluindo Índia, Rússia, China e Estados Unidos, relutam até o momento em acatar a medida, embora a nova legislação preveja que as empresas que se recusarem a pagar a referida taxa poderão ser multadas ou, em caso extremo, proibidas de pousarem nos aeroportos dos 27 países da UE.

Fixada em oito Euros a tonelada de CO₂ emitida, a nova lei deveria significar para a União Europeia uma arrecadação em torno de €256 milhões em 2012¹⁰. Embora todo este esforço sentido por atitudes de diversos países no sentido de provocar a redução das emissões de GEE para a atmosfera, seja por meio da taxação do carbono, seja por investimentos em eficiência energética, ou ainda, pelos investimentos em fontes renováveis, as emissões de GEE que continuam sendo registradas nos países cujos dados são frequentemente analisados pelas agências internacionais apresentam um quadro desolador. Segundo a Agência Internacional de Energia, a oferta de energia primária por combustível, no

¹⁰ Taxa de carbono sobre as emissões da aviação. Fonte: Revista VEJA digital, publicação de 09/03/2012. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/noticia/economia/ue-mantem-taxa-de-carbono>. Acesso em 17/07/2012.

mundo, em 2009, foi de 12.150 Mtoe (milhões de toneladas de petróleo equivalente), apresentando um crescimento de 98,8% em relação a 1973, ano do chamado “Primer Choque do Petróleo”. (IEA, 2012).

2.3 Sistema (Regime) Cap-and-Trade

Um sistema regulatório de emissões é corriqueiramente classificado como sendo do tipo “*cap-and-trade*” quando ele se apresenta como um sistema regulado por uma entidade onde o objetivo geral é reduzir as emissões de poluentes como um todo. Este sistema vem sendo utilizado para reduzir certos tipos de emissões e de poluição em determinadas áreas geográficas do planeta e, ao mesmo tempo, para fornecer às empresas reguladas um incentivo financeiro adicional visando reduzir seus níveis de emissão de forma mais rápida do que seus concorrentes, por meio de mudanças tecnológicas na produção de bens e de serviços (eficiência energética).

Sob um regime “*cap-and-trade*”, um limite (*cap*) é estabelecido por um órgão regulador para cada tipo de emissão ou poluição, sendo as empresas reguladas autorizadas a comercializar (*trade*) seus limites de emissões (*allowances*) não utilizados para outras empresas que não conseguiram ou que não conseguirão cumprir as suas metas de redução em determinado período de tempo estabelecido à época da concessão das licenças (EPA, 2009).

O comércio de emissões (*emissions trading*) ou um sistema *cap-and-trade* são, ambas, abordagens baseadas no mercado, sendo usadas para controlar a poluição através de incentivos econômicos visando a se alcançar reduções na emissão de poluentes. A autoridade central reguladora (geralmente um organismo governamental) define um limite sobre a quantidade do(s) poluente(s) que pode(m) ser emitida(s) em certo período de tempo, (geralmente, de um ano). O limite ou “*cap*” é alocado ou vendido para empresas na forma de licenças de emissão que, na verdade, representam o direito de emitir ou de descarregar um volume específico do(s) poluente(s) especificado(s). Tais empresas são obrigadas a possuir um número de licenças (ou de créditos de carbono, na linguagem do mercado) equivalente às emissões que a elas foram permitidas. (STAVINS, 2001)

O número total de licenças não pode exceder o limite estabelecido, o que limita as emissões totais da região/país abrangidos pelo sistema. As empresas que precisarem aumentar seu volume de emissões (pela necessidade de maior produção para atender ao

mercado), ou as que não conseguiram cumprir a meta estabelecida, por algum outro motivo, devem comprar no mercado, diretamente das empresas que conseguiram reduzir suas emissões, ou por meio de leilões periódicos promovidos pelos governos, principalmente pelos governos da Alemanha e do Reino Unido, os que mais atuam diretamente neste mercado.

Ainda segundo este mesmo autor, a transferência de licenças mediante pagamento, é o *trade* (comércio) do sistema *cap-and-trade*. Com efeito, o comprador está pagando uma taxa para poluir, enquanto o vendedor está sendo recompensado por ter reduzido as suas emissões, e os governos, em seus leilões, além de fazerem caixa, estabelecem, indiretamente, um preço-sombra para a tonelada de carbono, a fim de orientar o mercado especializado.

Desta forma, em teoria, as indústrias que podem reduzir as suas emissões de forma mais barata irão fazê-lo, conseguindo a redução da poluição ao menor custo para a sociedade, e os governos, indiretamente, se utilizam da função de comando-controle de que dispõem, no sentido *strictu sensu*.

Existem pelo mundo programas de troca de ativos para diversos poluentes atmosféricos. Para negócios com créditos e permissões de carbono, o maior e mais organizado é o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS), cujo objetivo primordial é evitar os perigosos eventos climáticos previstos pelos relatórios do IPCC, emitidos a partir de 2007. Nos Estados Unidos, existe um mercado nacional para reduzir a incidência de chuvas ácidas no território americano (o *Acid Rain Program*), fonte inspiradora do sistema EU ETS, e vários mercados regionais americanos fazem negócios com certificados de redução de emissões de óxidos de nitrogênio¹¹, segundo EPA (2009).

Apresentados nas seções anteriores os três instrumentos de comando-e-controle utilizados pelos agentes reguladores no mercado de carbono, vamos discutir nas próximas seções os mercados regular, o voluntário, além de alguns mercados regionais importantes, onde também se negociam créditos de carbono.

¹¹ A expressão “óxidos de nitrogênio” geralmente se refere a vários compostos químicos gasosos, formados pela combinação do oxigênio com o nitrogênio. O processo mais habitual destes compostos inorgânicos é a combustão em altas temperaturas, processo no qual o ar é habitualmente o comburente. Os óxidos de nitrogênio, conhecidos como importantes poluentes da atmosfera, são emitidos pelos motores de combustão interna, fornos, caldeiras, estufas, incineradores, pelas indústrias químicas (na fabricação de ácido nítrico, de ácido sulfúrico, de corantes, vernizes, nitrocelulose, etc.), na indústria de explosivos e, também, pelos silos de cereais.

2.4 Mercados Regulados de Carbono

O mercado regulado de carbono teve a sua origem no Comércio Internacional de Emissões (CIE) criado por QUIOTO (1997), sendo a Bolsa do Clima de Chicago, Estados Unidos, a primeira do mundo a negociar créditos de carbono. O próprio regime da EU ETS, que será discutido na Seção 2.5 - teve o início de suas operações no mesmo ano em que Quioto entrou em vigor, após a ratificação do Protocolo pela Federação Russa (2005), incorporou como um dos seus objetivos propiciar a negociação de créditos de carbono originários de Quioto (CERs e ERUs), assim como também créditos de sua própria emissão (as *Emission Units Allowances* - EUAs). Várias bolsas especializadas em carbono ao redor do mundo foram criadas a partir de então.

2.4.1 Bolsa do Clima de Chicago – Pioneirismo.

No mês de Outubro de 2003, antes mesmo da entrada em vigor do Protocolo de Quioto - o que somente ocorreu em Fevereiro de 2005 - foi criada nos Estados Unidos a Bolsa do Clima de Chicago (*"The Chicago Climate Exchange - CCX"*). Embora ela tenha encerrado as suas atividades no fim do ano 2010, a CCX foi a primeira instituição no mundo, a negociar créditos de carbono.

Ao longo de suas operações, a CCX administrou um sistema de negociação por fontes de emissão em projetos de licenças ou de compensações de carbono que vinha sendo praticado tanto na América do Norte quanto no Brasil. Além de fazer a verificação independente nos projetos de redução de emissões a ela submetidos, a CCX negociou intensamente licenças e certificados de redução de emissões no período compreendido entre 2003 e 2010.

As empresas de países integrantes do Anexo I de Quioto, inclusive as próprias empresas americanas que aderiram, na época, à proposta da CCX¹², firmavam, ao fazerem seus registros, compromissos no sentido de reduzirem as suas emissões agregadas em até 6%, até o fim do ano 2010.

¹² Os Estados Unidos não ratificaram o Protocolo de Quioto. Portanto, o país não se comprometeu internacionalmente com qualquer meta para redução de suas emissões.

Notícias divulgadas na mídia, à época, informavam que o volume total de papéis sob a custódia da CCX, ao término de suas operações, em 2010, corresponderia ao montante de 680 MtCO₂e (680 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente).

A unidade de negócios com carbono na CCX era o Instrumento Financeiro de Carbono - CFI (do inglês, *Carbon Financial Instrument*), cuja unidade representava 100 tCO₂e. Os CFIs poderiam ser tanto créditos baseados em licenças emitidas para as empresas-membro, de acordo com suas respectivas linhas de base e metas de redução, assim como por compensações de carbono geradas a partir de projetos pré-qualificados, voltadas para a redução de emissões de GEE. Por sua vez, os créditos baseados em compensações só poderiam ser utilizados, nas operações gerenciadas pela CCX, se fossem para compensar até 4,5% dos limites de emissão determinados para cada um de seus membros¹³.

Em 2008, a CCX lançou a sua bolsa de futuros, a “*Chicago Climate Futures Exchange - CCFE*”, visando intermediar negócios com contratos futuros e derivativos baseados em emissões provocadas por diferentes fontes, incluindo instrumentos de crédito (produtos) para sua regulação, e para compensação das transações realizadas. Os produtos comercializados pela CCFE foram: (i) o CFI CCX; (ii) licenças emitidas pelo *Regional Greenhouse Gas Initiative* (RGGI); (iii) Créditos de conformidade voltados para uma regulação futura a ser promovida pelo sistema federal norte-americano; (iv) Certificados de Redução de Emissões (CERs), do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, criado pelo Protocolo de Quioto; (v) Certificados da *Climate Action Registry* (CARs)¹⁴; e (vi) Certificados da *Climate Reserve Tonnes* (CRTs)¹⁵.

Até julho de 2010, a CCX era controlada pela empresa *Climate Exchange PLC*, que também pertencia à Bolsa Europeia do Clima (*European Climate Exchange*). Naquele mesmo mês e ano, a empresa *Intercontinental Exchange* (ICE), controlada pela

¹³ Por conta desta limitação, a grande maioria dos créditos de carbono negociados na CCX no período em que operou, foram baseados em licenças (*allowances*) de carbono, e não em compensações (*offsets*) de carbono.

¹⁴ A “*The Climate Registry*” é uma entidade sem fins lucrativos para registro de emissões de GEE dos Estados Unidos, fornecendo às organizações-membros, ferramentas e recursos para ajudá-las - de uma forma pública, transparente e confiável - a calcular, verificar, relatar e gerenciar as suas emissões de GEE.

¹⁵ Muitos programas estaduais, regionais e federais americanos, baseados no mercado de redução de emissões, estão avaliando se cabe permitir às organizações sob suas tutelas, usarem um determinado número de “*Climate Reserve Tonnes (CRTs)*” - créditos de carbono verificados usando mecanismos do *Climate Action Reserve* - para satisfazerem as suas obrigações de redução de emissões de GEE.

Bolsa de Valores de Nova Iorque (NYSE) adquiriu a controladora da CCX, e anunciou ao mercado que metade da força de trabalho baseada em Chicago, seria demitida, devido à inatividade nos mercados de carbono nos EUA.

Em Novembro de 2010, o efetivo encerramento das posições em CFI foi alcançado, ocasião em que o preço do carbono no mercado americano, oscilava entre 10 e 5 centavos de dólar, seu valor mais baixo após ter atingido o ápice de 750 centavos de dólar, em maio de 2008. Em Fevereiro do mesmo ano, as negociações já haviam alcançado um volume zero, permanecendo assim pelos próximos nove meses.

Ante ao quadro tenebroso, a *Climate Exchange PLC* em comunicado formal à agência americana correspondente à brasileira Comissão de Valores Imobiliários (CVM), anunciou que iria encerrar a comercialização de créditos de carbono ao final daquele mesmo ano, embora tenha informado, no mesmo documento, que as negociações das licenças e compensações remanescentes sob sua custódia ainda seriam facilitadas para quem viesse a se interessar, via mercado de balcão.

O mercado de carbono utilizado para fins da montagem do modelo proposto, por ser o maior do mundo na atualidade, é o regulado pelo Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS), que será objeto de discussão ainda neste capítulo.

Em seguida iremos apresentar e discutir os três principais certificados de carbono negociados no mercado europeu, assim como os preços médios históricos computados a partir do início das negociações de cada um deles.

2.4.2 *European Union Allowances (EUAs)*

As *European Union Allowances (EUAs)*, ou *Permissões da União Europeia*, são títulos negociáveis em bolsas de carbono tanto nos mercados à vista quanto nos mercados futuros, sendo o nome com o qual foram batizados os créditos de carbono emitidos pelos agentes reguladores da Comunidade Europeia no âmbito da EU ETS, sistema este que funciona com base em um sistema *cap-and-trade*. Uma EUA, por convenção, corresponde a 01 (uma) tonelada de carbono equivalente (tCO_{2e}).

O histórico de preços médios das EUAs, listados em seguida, correspondem a negócios realizados no período compreendido entre setembro de 2005 a agosto de 2012 no mercado à vista (*spot*).

Tabela 1 - Preços médios das EUAs (em €).

MÊS	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	-	23,92	3,80	0,02	12,68	12,98	14,10	6,90
Fev	-	26,19	1,23	20,82	9,46	12,87	14,60	8,50
Mar	-	26,37	1,10	21,33	11,23	12,87	15,70	7,63
Abr	-	26,71	0,69	24,11	12,92	14,24	16,30	6,94
Mai	-	14,81	0,35	25,24	14,51	15,30	16,50	6,64
Jun	-	14,99	0,18	27,03	13,25	15,32	15,20	7,92
Jul	-	16,24	0,12	25,30	13,75	14,21	12,60	7,45
Ago	-	15,86	0,09	23,29	14,61	14,62	12,20	7,55
Set	22,82	14,83	0,08	23,73	14,17	15,31	11,70	
Out	22,68	12,13	0,07	20,91	14,05	15,10	10,30	
Nov	21,59	9,04	0,07	17,02	13,54	14,76	9,40	
Dez	21,11	6,78	0,03	14,96	13,48	14,22	7,40	
Média	22,05	17,30	0,65	20,31	13,39	14,32	13,00	7,44

Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris).

Com base nos dados da Tabela 1, foi construído o gráfico resultante.

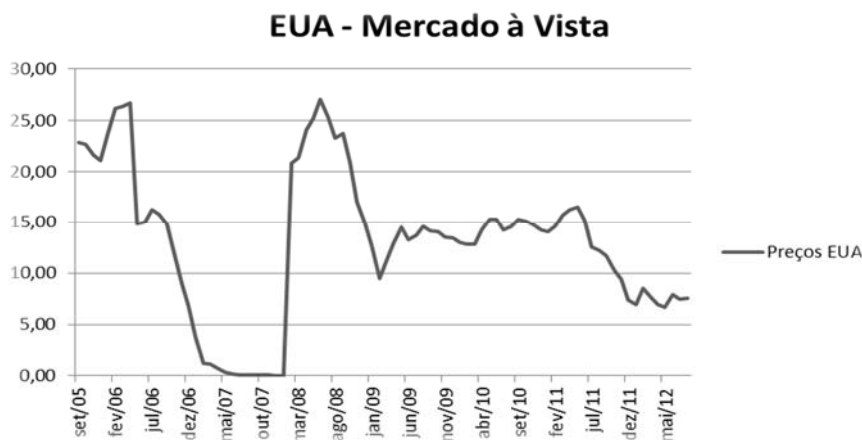


Figura 2 – Preços médios das EUAs (em €).

Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris)

2.4.3 Redução Certificada de Emissões (RCE)

As Reduções Certificadas de Emissões, ou, em inglês, *Certificate of Emissions Reduction* (CERs), são créditos de carbono concedidos sob as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). São títulos vinculados a projetos de redução de emissões de GEE, desenvolvidos e aprovados pelo Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (CQNUMC) para serem executados em países em

desenvolvimento não integrantes Anexo I do Protocolo de Quioto (Não-Anexo I), onde se inclui, por exemplo, o Brasil, a Índia, a China, a Rússia, e a África do Sul.

Da mesma forma que as EUAs, cada CER corresponde a 01 (uma) tonelada de carbono equivalente (tCO_{2e}). As CERs são principalmente negociadas nas bolsas europeias, tanto no mercado à vista quanto no mercado futuro. O início de comercialização das CERs nas bolsas europeias se deu a partir do mês de março de 2007.

Os preços médios alcançados por esses títulos na BLUENEXT, bolsa de carbono localizada em Paris, França, e então a maior do mundo negociando créditos de carbono, são os constantes da tabela apresentada em seguida.

Tabela 2 - Preços médios das CERs (em €)

Mês	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	-	16,52	11,67	11,68	11,40	3,90
Fev	-	15,21	9,11	11,66	11,60	4,50
Mar	13,68	15,83	10,59	11,74	12,50	4,20
Abr	13,59	16,04	11,02	12,79	13,10	3,87
Mai	16,10	17,08	12,23	13,22	12,80	3,57
Jun	15,38	20,05	11,61	12,95	11,70	4,02
Jul	16,29	21,00	12,45	12,20	10,00	3,34
Ago	16,21	20,15	12,99	12,68	8,70	2,85
Set	16,71	19,64	12,81	13,71	8,40	
Out	17,29	17,92	13,17	13,39	7,40	
Nov	17,78	15,02	12,71	12,30	6,60	
Dez	17,15	13,46	12,24	11,75	4,80	
Média	16,02	17,33	11,88	12,51	9,92	3,78

Fonte: Bolsa Europeia BLUENEXT (Paris).

A evolução dos preços alcançados pelas CERs mostrada na tabela precedente está representada no gráfico a seguir.

Preços Médios CER (€)

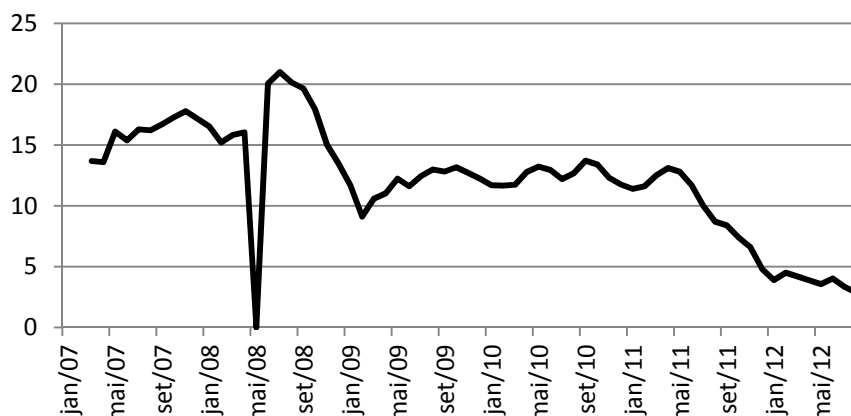


Figura 3 – Preços médios das CERs (2007 a 2012)¹⁶.

Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris).

2.4.4 Comparação dos Preços: EUA X CER – Mercado à Vista

Por serem certificados negociados no mercado financeiro internacional, e ambos rotulados como “créditos de carbono”, podendo ser usados tanto como instrumento de compensação de redução de emissões quanto simplesmente como um investimento como qualquer outro, os grandes *dealers* do mercado esperavam que com as regras vigentes na data dos respectivos lançamentos, que tanto EUAs quanto CERs mantivessem certa paridade de preços ao longo do tempo, principalmente por conta do segundo certificado (CER) derivar de projetos de países em desenvolvimento e poder ser negociado livremente com empresas e/ou investidores de países desenvolvidos sem qualquer limitação de quantidade, principalmente durante a primeira fase de implantação do regime *cap-and-trade* na EU ETS, que vigorou como já mencionado neste texto, de setembro de 2005 até janeiro de 2008 (ELLERMAN *et al.*, 2010).

Outra questão importante levada em consideração por investidores e tomadores de decisão, à época, era de que os dois tipos de papel (EUA e CER) deveriam ter, em igualdade de condições, os mesmos preços – já que ambos representavam certificados de redução de emissões - se confrontados com os então, enormes custos para abatimento das emissões (mudanças de tecnologia), que as empresas arcaíam caso optassem por modificar seus processos produtivos em busca de menores emissões de GEE.

¹⁶ Os preços das CERs, entre março de 2007 até novembro de 2007 referem-se a preços de venda no mercado de balcão. A partir de dezembro de 2007, as CERs passaram a serem negociadas na Bolsa BLUENEXT (Paris).

No entanto, a Figura 4 revela que as previsões iniciais das partes interessadas sobre a quase certa igualdade de preços entre EUAs e CERs não se confirmou, sendo sempre registrados na BLUENEXT preços médios das EUAs quase sempre superiores aos das CERs, com exceção do início de negócios com CERs no mercado de balcão, e do período bastante próximo ao término da primeira fase do regime europeu (Dez/2007 a Fev/2008) quando, por decisão tomada pelo colegiado da EU ETS, as EUAs emitidas e não utilizadas durante a fase de funcionamento experimental (primeira fase), não poderiam ser negociadas em bolsa na fase seguinte, ou seja, no jargão do mercado financeiro, essas EUAs iniciais “micaram” nas mãos das empresas e dos investidores, dando-lhes um prejuízo brutal, já que os preços desses certificados atingiram os seus valores mais baixos de todo o período analisado por este trabalho.

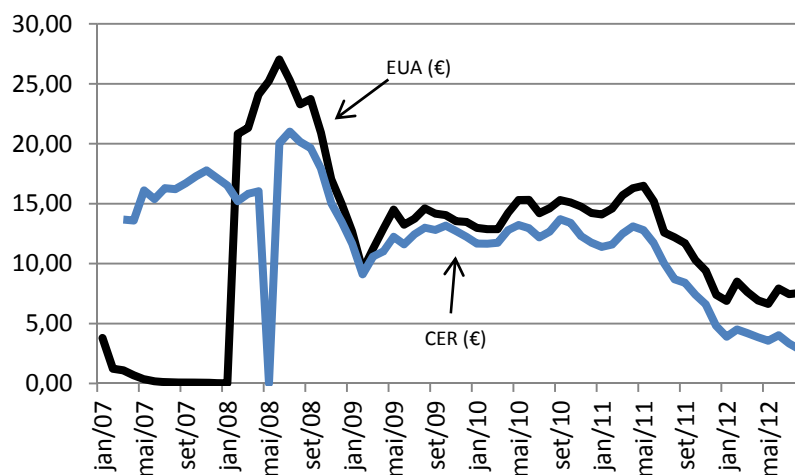


Figura 4 – Preços médios (*spot*): EUAs X CERs
Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris).

A comparação dos preços das EUAs com as CERs, revelada na figura acima, confirma que, somente enquanto negociadas nos mercados de balcão - de março de 2007 a janeiro de 2008 - as CERs alcançaram preços superiores aos das EUAs. Pequeno acompanhamento entre os mencionados preços ocorreu por mais dois meses, quando à época os preços médios de ambos os certificados de carbono foram negociados, em média, a €16.52 por tonelada de carbono equivalente. A partir daí os preços médios das CERs naufragaram, a exemplo do que já tinha ocorrido com as EUAs em dezembro de 2007, final da fase experimental da EU ETS. Este mesmo gráfico mostra que a partir de junho de 2008, tanto as EUAs quanto às CERs mantiveram os seus preços apresentando comportamento semelhante,

com as duas curvas de preços médios indicando a mesma trajetória, e um *spread*, ao longo desse tempo, de €2.20 favorável às EUAs.

2.4.5 Emissions Reduction Units (ERUs)

As *Emissions Reduction Units* (ERUs) são Unidades de Redução de Emissões de GEE emitidas pela CQNUMC no âmbito de projetos do Mecanismo de Implementação Conjunta (IC) para países listados no Anexo I do Protocolo de Quioto. A exemplo das EUAs e das CERs, uma unidade de ERU corresponde a 01 (uma) tonelada de carbono equivalente (tCO_{2e}) que deixaria de ser emitida para a atmosfera. Esses títulos passaram a ser negociados em bolsa de valores apenas a partir de dezembro de 2010, e os preços médios alcançados por elas no mercado à vista são os que se seguem:

Tabela 3 – Preços médios das ERUs (em €)

Mês	2010	Mês	2011	Mês	2012
Jan	-	Jan	11,35	Jan	3,70
Fev	-	Fev	11,51	Fev	4,40
Mar	-	Mar	12,50	Mar	4,07
Abr	-	Abr	13,00	Abr	3,84
Mai	-	Mai	12,70	Mai	3,49
Jun	-	Jun	11,60	Jun	3,73
Jul	-	Jul	9,90	Jul	3,04
Ago	-	Ago	8,50	Ago	2,57
Set	-	Set	8,20	Set	-
Out	-	Out	7,20	Out	-
Nov	-	Nov	6,40	Nov	-
Dez	11,77	Dez	4,80	Dez	-
Média	11,77	Média	9,81	Média	3,61

Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris).

Na figura 5 pode ser observado que após um ano e oito meses do início de sua comercialização em bolsa e de ter atingido um preço máximo, histórico, em abril de 2011 (€13,00), a *commodity* representativa de projetos de Implementação Conjunta (IC) entre os países do Anexo I de Quioto só decaiu de preços, fechando o mês de agosto de 2012 com a menor cotação desde o seu lançamento na BLUENEXT em dezembro de 2010 (€2,57).

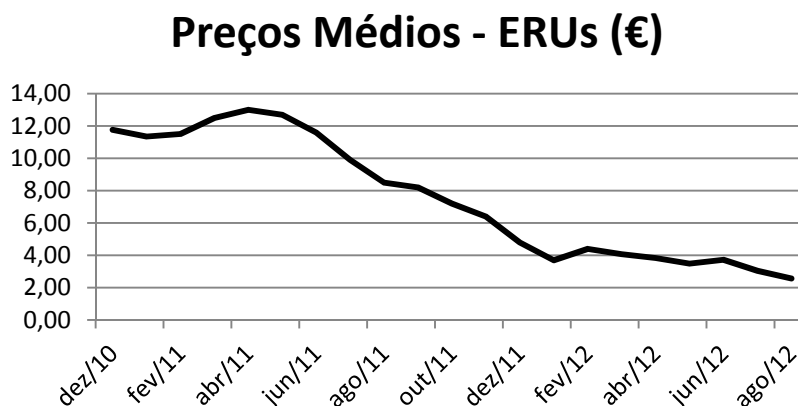


Figura 5 - Preços médios das ERUs (€).
Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris).

É importante ressaltar que a representatividade dos ERUs no mercado de carbono europeu com o passar do tempo se tornou muito pequena, não só pelo baixo nível de preços e de transações realizadas desde o início de seu lançamento em bolsa, como também por envolver projetos implantados ou a implantar apenas em países do Anexo I de Quioto. O próprio sistema controlado pela EU ETS de certa forma vem inviabilizando o uso e os negócios envolvendo as ERUs, uma vez ser a própria EU ETS quem emite as EUAs que são, como já discutido, baseadas em um sistema *cap-and-trade*, onde as metas de redução das emissões impostas são consideradas mais rigorosas para os países europeus do que as assumidas por eles mesmos em Quioto, como integrantes que são da lista de países Anexo I.

Com relação aos preços baixos atuais das EUAs e das CERs nos últimos meses de 2012, entrou em vigor a partir de janeiro de 2013 a terceira fase de execução da EU ETS com compromissos e restrições ainda mais rigorosos, sendo outras as condições políticas e estruturais que vêm impedindo um interesse maior de empresas e de investidores em projetos de IC e em certificados ERUs.

Considerando o início da vigência do Protocolo de Quioto em 2005, e o início das operações da EU ETS no mesmo ano, o que se constata atualmente no mercado de carbono é um excesso de oferta, com a expedição de EUAs e de CERs em quantidades muito maior do que demanda, justificando os baixos preços que se são registrados atualmente.

Outro fator preponderante para a manutenção dos baixos preços do carbono no mercado, no médio prazo, principalmente no que tange às CERs e ERUs, diz respeito à recente prorrogação, na íntegra, do Protocolo de Quioto até 2020, conforme decisão tomada

na COP-18, realizada em Doha, Qatar, em 2012. Tal prorrogação dos efeitos de Quioto até 2020 significará mais emissões de CERs e de ERUs, sobrecarregando ainda mais um mercado extremamente saturado de créditos de carbono, mantendo seus preços por ainda muito tempo em centavos de Euro, caso nenhuma outra parte componente do sistema que envolve os preços do carbono não sofra variações capazes de alterar o cenário vigente.

2.5 Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS)

O *European Union Emission Trading System*¹⁷ (EU ETS, em sigla) tem seus fundamentos baseados em um sistema *cap-and-trade*. Tal sistema foi empregado pelos Estados-Membros como forma de auxiliar os países integrantes do bloco a atingirem as metas acordadas em Quioto, e ainda, tendo como expectativa atingir volumes de redução de emissões de GEE superiores ao acordado em 1997 no Japão, o que implica em um acordo para um corte de 8% abaixo dos níveis de emissões de 1990, até 2012 e, posteriormente, em outro corte mais rigoroso de 21% abaixo do nível das emissões de 2005 até 2020.

Além dos vinte e sete Estados-Membros da EU ETS, o sistema contou com a adesão de mais três países: Noruega, de Liechtenstein e da Islândia, logo após a sua criação, em 2005. A partir de uma primeira fase, o sistema passou a regular as emissões de cerca de onze mil indústrias carbono-intensivas, o que representava quase metade de todas as emissões registradas pela Comunidade Europeia em 1990.

Para a distribuição inicial das *allowances*, cada Estado-Membro teve de desenvolver um Plano Nacional de Alocação (PNA) indicando a quantidade total de *allowances* que pretendia distribuir para um determinado período e como este Estado-Membro propunha distribuí-las às indústrias locais. Esses PNAs eram para ser desenvolvidos utilizando-se critérios objetivos e transparentes que foram indicados em um Anexo das decisões da Direção da ETS. Também foi requerido que os Estados-Membros tornassem públicos comentários considerando o desenvolvimento dos seus PNAs, e que eles especificassem prazos para a submissão ou notificação dos mesmos para a Comissão Europeia.

Desde os seus primórdios, o sistema EU ETS foi dividido em três fases. A Fase I, considerada experimental, que decorreu de 2005 a 2007, a Fase II que teve início em

¹⁷ Disponível em http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm. Acesso em 10/10/2011.

2008 e terminou em dezembro de 2012, e a Fase III, que se inicia no corrente ano e tem término previsto para 2020.

Em seguida será discutido o desempenho e decisões que o colegiado da EU ETS tomou fase a fase, assim como a influência que cada decisão tomada teve sobre os preços dos créditos de carbono comercializados na Europa.

2.5.1 Fase I (2005 – 2007)

Segundo ELLERMAN *et al.* (2010), a primeira fase da EU ETS não tinha por objetivo obter significativa redução nas emissões de GEE, e sim estabelecer a infraestrutura e instituições de controle do mercado, além de adquirir experiência para então fazer da fase subsequente (2008 – 2012), um verdadeiro período de sucesso. Além do mais, segundo os mesmos autores, este período experimental não era parte do Protocolo de Quioto. O limite de emissões que estava para ser decidido nesta primeira fase era voluntário, assumido pela União Europeia, visando preparar-se para o período de comercialização subsequente, quando um sistema legalmente estabelecido e totalmente estruturado passaria a existir. Como resultado, o critério para fixação de limites de emissão neste período experimental estava diretamente correlacionado com as práticas das emissões usuais em voga na ocasião.

Como já apresentado na Seção 2.3.4 deste trabalho, foi exatamente no primeiro ano da Fase II da EU ETS (2008) que os preços dos certificados de carbono atingiram os seus ápices históricos.

2.5.2 Fase II (2008 – 2012)

Em 23 de julho de 2003, a União Europeia decidiu aceitar, a partir de janeiro de 2008, os créditos de carbono gerados a partir dos mecanismos de Quioto com aqueles criados dentro da própria comunidade europeia (EUAs), permitindo que CERs e ERUs de Quioto fossem utilizadas pelas empresas do mesmo modo que as de sua própria criação, ou seja, como meios de compensação para as metas de redução das emissões não atingidas (LEFEVERE, 2005).

Segundo Lefereve (*op. cit.*), os tomadores de decisão da União Europeia entenderam que a medida teria como vantagem a redução dos custos de abatimento para as empresas integrantes dos setores da indústria regulados pela EU ETS, aumentando, desta

forma, as opções à disposição dos administradores das empresas no tocante ao cálculo do custo-benefício visando o alcance das metas de redução das emissões que lhes foram imputadas.

Entretanto, como o Sistema Europeu de Comércio de Emissões foi concebido para ser um meio para se reduzir as emissões de setores da indústria local, e como este também visava, em paralelo, o desenvolvimento de tecnologias mais limpas, críticas das mais diversas sobre a importação de créditos de Quioto para os negócios na EU ETS agitaram a União Europeia, principalmente destacando que a decisão tomada iria reduzir os incentivos à inovação, uma vez que o acesso à opções mais baratas para abatimento das emissões pelas indústrias europeias dentro da própria comunidade, além de reduzir os preços das suas próprias *allowances* (EUAs), e, portanto, iriam incentivar o desinteresse das empresas reguladas em aperfeiçoar os seus processos industriais (a busca pela eficiência energética) visando o cumprimento das metas predeterminadas. Ademais, as severas críticas também se fundamentavam no fato de que foram os países industrializados os responsáveis pelo atual nível de concentração de GEE na atmosfera, razão pela qual eles deveriam assumir a responsabilidade de tentar resolver esta questão apenas por meio do mercado interno.

Por outro lado, havia algumas dúvidas no mercado sobre a qualidade dos créditos de carbono baseados em projetos, como são os advindos do MDL e os do IC derivados de Quioto. Assim, devido a estes argumentos e de acordo com a complementaridade e as obrigações de adicionalidade, segundo os Acordos firmados em Marraqueche (COP-7), a UE passou a impor limites na qualidade e na quantidade máxima dos créditos de carbono oriundos de Quioto (CERs e ERUs).

Desse modo, no início de outubro de 2007, ficou determinado pelos tomadores de decisão da EU ETS, que cada indústria inserida nos vinte e sete Estados-Membros regulados, teria o direito de utilizar um limite máximo de 2098 milhões de EUAs por ano, para cumprimento até Dez/2012 de suas metas no âmbito do sistema ao longo da Fase II, assim como também a partir de 2013 o limite permanecerá o mesmo (UE, 2008). Ficou também decidido em se restringir o uso de créditos de carbono representados por CERs e ERUs apenas até o final da Fase II (31/12/2012), e a orientação para essa restrição foi baseada na interpretação do Critério 12 do Anexo III da Diretiva (UE, 2004). De acordo com este critério, o montante total de créditos que seriam autorizados a “importação” por cada Estado-Membro, seria determinado por uma fórmula, formula esta descrevendo as regras que

deveriam ser consideradas na fixação de cada limite, tanto de CERs quanto de ERUs. Finalmente, foi também estabelecido um percentual mínimo sobre o valor das CERs e de ERUs em qualquer instalação industrial europeia, dependendo este limite, do que foi batizado pela UE de “esforço de redução” que cada instalação industrial teria de fazer para cumprir as metas de emissões estabelecidas. Este chamado "esforço de redução" poderia ser calculado com base em três diferentes anos-base: 1990 - 2004 - 2010. Além disso, a quantidade máxima de CERs e de ERUs que um Estado-Membro estava autorizado a importar era igual à metade da maior diferença entre o nível de emissões de GEE em um desses anos e a meta de redução estabelecida no Acordo de Distribuição de Encargos Europeu, e o Protocolo de Quioto¹⁸ (EU, 2006).

No que tange à fórmula antes mencionada para importação das CERs e das ERUs de Quioto, a UE definiu um limite máximo efetivo de 50% sobre o número de CERs e de ERUs que poderiam ser utilizadas por cada Estado-Membro em relação ao seu "esforço de redução". Se os Estados-Membros comprassem CERs ou ERUs, por exemplo, estes seriam obrigados a deduzir a quantidade de créditos do total a ser usado pela indústria submetida ao sistema EU ETS. Ao contrário, se tais indústrias não comprassem créditos com recursos dos Estados-Membros, ou seja, com recursos próprios, o valor total de créditos poderia ser distribuído entre as indústrias do país abrangidas pela EU ETS. Desta forma, os Estados-Membros passaram a ter de determinar a quantidade máxima de créditos que as indústrias abrangidas pelo sistema no seu próprio país estariam autorizadas a utilizar como uma percentagem de licenças (*allowances*) concedidas a cada uma delas (DE SEPIBUS, 2008).

Adicionalmente, o limite imposto pelo operador do sistema ETS sobre o uso de CERs e de ERUs não poderia ser inferior a 10% da atribuição de licenças a ele já concedidas (EU, 2006). O limite total sobre o uso de CERs e de ERUs equivalia a 13,4% do limite máximo global à época das decisões, o que significa que a demanda máxima de créditos decorrentes de Quioto seria de até 278,3 milhões tCO₂ por ano na Fase II (WORLD BANK, 2008). Em outras palavras, a utilização máxima admissível do CERs e de ERUs durante a Fase II seria de 1.400 MtCO₂.

¹⁸ No âmbito do Protocolo de Quioto, os Estados-Membros da UE se comprometeram a reduzir suas emissões em 8% abaixo de seus níveis de 1990 ao longo do período de 2008-2012. A UE redistribuiu a meta entre os seus Estados-Membros, e cada Estado-Membro tem de cumprir a meta específica definida por este acordo.

Finalmente, durante os quatro anos da Fase II, os Estados-Membros foram autorizados a leiloar até 10% das licenças/permissões de suas cotas, e também que as EUAs da Fase II em diante poderiam ser utilizadas em períodos futuros, o que até então não era permitido (WORLD BANK, 2009). Outra proposta do Comitê-Gestor da EU ETS que acabou por ser abortada, abordava a questão do entesouramento das EUAs e das CERs para evitar os efeitos de uma eventual superalocação de créditos que poderia levar a uma queda dramática dos preços dos certificados de carbono na fase final do sistema, que se encerrou em dezembro de 2012¹⁹.

2.5.3. Fase III (2013 – 2020)

Bem antes do início da terceira fase da EU ETS, em janeiro de 2008, a Comissão Europeia propôs uma primeira versão para a Fase III, que posteriormente, em dezembro do mesmo ano, esta mesma versão foi adaptada e batizada pelo Parlamento Europeu como “*The Climate and the Energy Package*” (Pacote do Clima e de Energia) (UE, 2009). De acordo com este pacote institucional, a UE comprometia-se a reduzir abaixo dos níveis de 1990, as suas emissões globais de carbono equivalente em pelo menos 20% até 2020, declarando estar preparada para expandir esta redução para até 30%, no caso de um novo acordo global sobre mudanças climáticas (WORLD BANK, 2009).

Segundo o documento mencionado, os Estados-Membros não teriam mais Planos Nacionais de Alocação (PNA), e um limite de emissões único seria estabelecido à nível da UE, com subsídios sendo atribuídos com base em regras harmonizadas. O alcance das indústrias abrangidas pelo sistema da EU ETS seria ampliado, incluindo as indústrias de produtos petroquímicos e de amônia, assim como as do setor de alumínio e de dois novos gases antes não incluídos: o óxido nitroso e os perfluorcarbonos. De modo contrário, sob nenhum acordo global, as emissões das indústrias regidas sob o sistema da EU ETS deverão ser reduzidas em 21% abaixo dos níveis de 2005 até 2020, ou ainda, para uma redução de 14% em relação aos níveis de 1990.

A finalidade principal do Pacote Europeu do Clima e da Energia foi o de eliminar a atribuição gratuita de *allowances* em 2020 para a maioria das indústrias carbono-

¹⁹ Este excesso de oferta acabou por acontecer, levando os preços do carbono a níveis mínimos, históricos, jamais antes registrados.

intensivas, sendo a realização de leilões, a regra estabelecida para o setor de energia a partir de 2013²⁰.

Em 2013, a alocação da UE de licenças de emissão deverá ser de cerca de 1.974 milhões de EUAs, quantidade que deverá ser reduzida em 1,74% ao ano, conforme previsto no documento, para que a UE alcance a meta de redução de 1.720 milhões de EUAs em 2020 (WORLD BANK, 2009). A utilização máxima de CERs e de ERUs permitida durante a Fase II e III do sistema EU ETS foi limitada a 1.700 MtCO₂. Isto representava um aumento de 20%, ou 300 MtCO₂ adicionais no volume permitido de créditos oriundos de CERs e de ERUs em comparação com a proposta aprovada pela UE em janeiro de 2008 (WORLD BANK, 2009).

Para setores não pertencentes ao sistema de EU ETS, novas CERs e ERUs poderiam ser adquiridas pelos Estados-Membros da CE, até um patamar de 3% das emissões registradas em 2005. A directiva sugeria também que sob a existência de um eventual acordo internacional, o acesso adicional às CERs e às ERUs também poderia ser permitido dentro da UE.

Ainda de acordo com o "*Pacote Europeu do Clima e da Energia*", os créditos gerados a partir de todos os tipos de projetos, estabelecidos antes de 2013, e aceitos no regime comunitário durante a Fase II, poderiam ser trocados por créditos obtidos na Fase III, podendo assim ser comercializados, sem restrição, passando a confiança necessária a investidores e empresários que ainda valeria a pena adquirir créditos de carbono após o final de 2012. Em outras palavras, os ERUs e as CERs de Quioto poderão ser adquiridos e entesourados a espera de melhores preços, podendo esta regra certamente evitar um colapso de preços dos certificados de carbono, após a vigência de Quioto ou na falta de um novo acordo internacional que venha a substituí-lo (WORLD BANK, 2009)²¹.

Além das restrições mais rígidas de quantitativos sobre a importação e a utilização de créditos de carbono não gerados no sistema EU ETS, existem algumas restrições

²⁰ No entanto, a certos Estados-Membros será permitido atribuir licenças de emissão gratuitas para produtores de eletricidade.

²¹ De acordo com resolução da COP-18 realizada em Novembro e Dezembro de 2012, em Doha, no Qatar, os prazos de Quioto foram prorrogados para 2020. O grupo de países comprometido com as metas do protocolo se reduziu a trinta e seis: Austrália, Noruega, Suíça, Ucrânia e todos os integrantes da União Europeia. Juntos, esses países respondem por apenas 15% do total de emissões de GEE de todo o mundo, em 2011.

sobre a qualidade dos créditos, uma vez que já tinha havido no mercado especializado, na época do Pacote, registro de fraudes em certificados baseado em projetos de Quioto (MDL e IC). Desta forma, apenas créditos aprovados por todos os Estados-Membros da União Europeia, poderão ser utilizados para compra, venda, ou compensação pelo não atingimento de metas.

Nos Estados Unidos, país que sempre rejeitou Quioto, algumas instituições oficiais foram criadas à nível estadual para regular a quantidade de emissões de CO₂ de empresas carbono-intensivas localizadas em seus territórios. Naquele país, o comércio de emissões é regulado – portanto, é um comércio formal - por meio de três iniciativas regionais que também atuam sob o regime do sistema *cap-and-trade*: o “*Regional Greenhouse Gas Initiative - RGGI*”, em tradução livre “Iniciativa Regional de Gases do Efeito Estufa”, a “*Western Climate Initiative - WCI*”, também em tradução livre, a “Iniciativa Climática do Oeste”, e o “*Midwestern Greenhouse Gas Reduction Accord - MGGRA*”, ou, da mesma forma, “Acordo para Redução de Gases de Efeito Estufa do Meio-Oeste”.

Do RGGI fazem parte do mercado os estados americanos de Connecticut, Delaware, Massachusetts, Maryland, Maine, Nova Hampshire, Nova Jérsei, Nova York, Rhode Island e Vermont, e as maiores companhias produtoras de energia destes estados americanos são obrigadas por lei a comprarem as licenças em leilões para cada tonelada de carbono que emitirem.

Este mercado, que no início de sua formação era responsável pela emissão anual de 695 MtCO₂e, correspondendo a 10% de todo o país, se caracteriza pelo resultado de um esforço cooperativo de dez estados do nordeste e do centro-atlântico norte-americano, tendo entrado em vigor em 01 de janeiro de 2009.

Foi assim estabelecido um programa *cap-and-trade* para as emissões de CO₂ de centrais elétricas com pelo menos 25 (vinte e cinco) Megawatts de potência. O limite inicial para as empresas carbono-intensivas dos dez estados foi fixado pelos níveis das emissões (estimadas) de 2009. A partir de 2015, ficou acordada entre as partes uma redução de 10% nas emissões de CO₂ até o ano 2018.

Os resultados obtidos com os leilões são utilizados em patrocínios do governo a programas de eficiência energética e de tecnologias limpas voltadas para produção

de energia, bem como por meio de subsídios, para reduzir os impactos aos contribuintes de baixa renda nos preços das contas de energia. As centrais elétricas poderão utilizar compensações domésticas aprovadas para atender até 3,3% (três vírgula três por cento) de seus limites pré-fixados de emissões.

A arrecadação dos leilões regionais também vem sendo investida de outras maneiras pelos estados integrantes, obtendo resultados econômicos positivos, como: formação de trabalhadores, projetos comunitários de energia renovável, proteção de terra, e contribuições para um Fundo Geral dos Estados, visando ajudar no fechamento das respectivas lacunas orçamentárias.

Esta primeira experiência dos Estados Unidos com precificação de carbono nos mercados de eletricidade, provocada pela RGGI, tem produzido dados históricos que revelam impactos econômicos concretos tanto em nível estadual quanto regional. Desde a metade de 2008 até setembro de 2011, as centrais elétricas já gastaram mais de US\$ 912 milhões comprando licenças. Esses recursos arrecadados vêm sendo aplicados em programas de eficiência energética, uma vez que foi a forma mais popular e mais economicamente vantajosa que os estados americanos encontraram para colocar os fundos obtidos com os leilões de licenças (*The Electricity Journal*, edição de Dezembro de 2011)²².

Para que se possa dimensionar o tamanho deste mercado formal de carbono, a população dos estados incluídos no sistema RGGI é de cerca de 17% da população dos Estados Unidos, sendo também a região responsável por 20% no PIB norte-americano.

Com sua efetiva implantação ao longo do tempo, os primeiros resultados que demonstram a sustentabilidade do RGGI começaram a aparecer: os estados integrantes deste mercado passaram a consumir apenas 11% do total da oferta de energia nos EUA, e a produzir, somente, 6% do total de emissões de CO₂ do país.

O segundo mercado de carbono regional dos Estados Unidos, a “*The Western Climate Initiative – WCI*”, ou Iniciativa Climática do Oeste, é um esforço conjunto de sete outros estados americanos e de quatro províncias canadenses, que, da mesma forma que o RGGI, adotaram o sistema *cap-and-trade* visando reduzir as emissões de GEE em 15

²² <http://www.journals.elsevier.com/the-electricity-journal/> - Acesso em 15/01/2012.

(quinze) por cento - abaixo dos níveis de 2005 - até o ano 2020. A primeira fase do programa irá cobrir as emissões das centrais elétricas e de grandes fontes industriais e comerciais, e começou em 01 de janeiro de 2012.

A segunda fase da Iniciativa Climática do Oeste irá começar em 2015, e em uma visão bastante ambiciosa, pretende expandir o programa para restrições de emissões também nos setores de transporte, residencial, comercial e industrial. Mecanismos de flexibilidade incluem períodos de três anos para o seu cumprimento, e poderá ser custeado por meio de subsídios e uso limitado das licenças de carbono.

Os arranjos institucionais da WCI iniciaram-se em fevereiro de 2007, quando os governadores do Arizona, Califórnia, Novo México, Oregon, e Washington assinaram um acordo levando seus respectivos estados a fixarem metas regionais de redução de suas emissões de GEE, e a criarem um registro multi-estado visando controlar e gerenciar as emissões destes gases na região, assim como para desenvolver, conjuntamente, um programa único, multi-estado, baseado no mercado e voltado para que pudessem atingir as suas metas de redução.

Ao longo de 2007 e 2008, os *Premieres* das províncias de British Columbia, Manitoba, Ontário e Quebec, do Canadá, além dos governadores dos estados americanos de Montana e Utah, se juntaram aos originais cinco estados comprometendo-se a combater as alterações climáticas a nível regional. Todos os 11 (onze) participantes colaboraram no desenvolvimento do Projeto para o Programa WCI Regional, que foi lançado oficialmente em julho de 2010.

A emissão conjunta, apenas dos estados americanos participantes da WCI, representava à época do seu lançamento oficial, 13% do total anual das emissões de GEE dos Estados Unidos, ou, em volume, emissões da ordem de 871 MtCO_{2e}. Para o mês de junho de 2012 foi prevista a divulgação pública do primeiro relatório contendo os resultados alcançados pela WCI, segundo informava o seu sítio Internet, que pode ser consultado em: <http://www.westernclimateinitiative.org/about-the-wci>.

A terceira e última iniciativa de mercado de carbono nos Estados Unidos, até a data de fechamento deste texto, é o “*The Midwestern Greenhouse Gas Reduction Accord - MGGRA*”, ou, em tradução livre, “Acordo para Redução de Gases de Efeito Estufa do

Meio-Oeste”, que tem como participantes os estados americanos de Illinois, Iowa, Kansas, Michigan, Minnesota, e Wisconsin, além da província canadense de Manitoba. Na condição de “observadores”, do MGGRA participam os estados norte-americanos de Indiana, Ohio, e Dakota do Sul, além da província canadense de Ontário.

Ratificado em 2007, o acordo celebrado por seus membros estabeleceu metas de redução regionais e desenvolveu um sistema multi-setorial *cap-and-trade* e de políticas complementares para ajudar no atingimento das metas traçadas. À época do acordo, o prazo do programa para redução das emissões foi considerado consistente com aqueles dos estados e províncias que já tinham as suas limitações para emissões, antes mesmo do fechamento do acordo. Os participantes também tiveram de se comprometer a formalizar e organizar uma instituição para propocionar o registro formal das emissões de GEE, visando garantir o atendimento daquilo que foi acordado entre as partes.

Do mesmo modo, os signatários concordaram que o sistema *cap-and-trade* também irá permitir a manutenção de certa correlação e o acompanhamento de programas semelhantes já em curso em outras regiões do país, maximizando os benefícios econômicos, e o nível de empregabilidade no país, além de minimizar, em paralelo, tanto a perda de empregos temporários pela população dessas regiões, quanto à redução as fugas de GEE para os estados não participantes, permitindo ainda que as empresas reguladas recebam créditos por suas ações passadas e presentes voltadas para a redução das emissões, além de dispor de um grande potencial de interação ou de integração com um futuro programa federal com mesmo fim. O acordo MGGRA reúne empresas responsáveis pela emissão anual de 932 MtCO_{2e}, correspondente, em 2007, a 14% do total de emissões dos Estados Unidos.

A estruturação de todo o funcionamento do programa MGGRA foi concluída no ano 2010, e até o momento o mercado destinado a comercializar as licenças de carbono a serem emitidas ainda não teve a sua operação iniciada.

2.6 Mercados voluntários de carbono

Atualmente existe uma ampla gama de operações que compõem o mercado voluntário de carbono, que não é movido por qualquer tipo de limite de emissões. Como esse mercado não faz parte de um sistema *cap-and-trade* - onde licenças de emissão podem ser negociadas - quase todos os créditos de carbono, adquiridos no mercado voluntário, são originários de compensações (*offsets*) de carbono, ou seja, projetos de redução de emissões, projetos esses, por exemplo, que dão origem às CERs e às ERUs de Quioto. Além disso, em razão dessa massa de transações não ocorrer por meio de trocas regulamentadas, este mercado voluntário é chamado de Mercado de Balcão (do inglês, "*Over-The-Counter Market*" – *OTC Market*).

Os créditos voltados especificamente para o mercado voluntário foram batizados de Reduções de Emissões Verificadas ("*Verified Emission Reduction* – VER"), e Unidades de Carbono Verificadas ("*Verified Carbon Units* - VCU"). No entanto, os participantes do mercado de balcão também podem comprar créditos nos mercados regulamentados, como os do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de Quioto, ou os do RGGI californiano/americano.

O mercado de balcão do carbono vem sendo impulsionado por posturas algumas vezes "puras e voluntárias" e outras vezes "financeiras e/ou estratégicas" das empresas que dele participam. Puras e voluntárias, quando não tendo qualquer limite de emissões por suas atividades não serem carbono-intensivas, compram créditos no mercado apenas para mostrar ao público em geral que têm consciência ambiental e se preocupam, por exemplo, com as questões das mudanças climáticas. Financeiras e/ou estratégicas, quando temem que um enquadramento futuro por meio de regulamentação governamental em seus países ou nas regiões onde operam, possam vir a limitar as emissões decorrentes de suas atividades produtivas, comprometendo os seus custos ou impelindo-as às mudanças de tecnológicas.

Estudos de mercado que tivemos a oportunidade de conhecer, indicam que compradores de VERs, VCUs e demais certificados de redução, normalmente fazem seus negócios com um dos dois objetivos em mente: (i) para receber um crédito precoce com preço mais baixo por sua compra voluntária, caso as suas atividades venham a ser regulamentadas no curto/médio prazos; ou (ii) para vendê-los futuramente a um preço superior para empresas

enquadradas por um regime *cap-and-trade*. As empresas que têm o primeiro objetivo são entidades suscetíveis de serem regulamentadas, e aquelas com o segundo objetivo, são em grande parte empresas do mercado financeiro.

No conjunto dos chamados *players* do mercado voluntário de compensações, se incluem varejistas, investidores que vendem seus créditos *on line*, ONGs ambientais, desenvolvedores potenciais de projetos no âmbito de Quioto, projetos este que, por uma série de razões, ainda não podem ser vendidos nos mercados formais – assim como os desenvolvedores de projetos (principalmente aqueles interessados na geração de VERs), investidores acumulando créditos em carteira, e ainda, corretores de valores mobiliários.

Segundo estas mesmas pesquisas de mercado, dependendo da posição de cada um na cadeia de abastecimento, os *players* do mercado voluntário podem ser agrupados em quatro tipos principais: (i) Desenvolvedores do projeto: desenvolvem projetos de redução de emissões de GEE e podem vender os créditos gerados pelo projeto para investidores-acumuladores (agregadores), varejistas ou clientes finais; (ii) Agregadores/atacadistas: atuam quando, em virtude dos preços de mercado, para eles compensa vender uma grande quantidade de créditos; (iii) Varejistas: vendem pequenas quantidades de créditos a indivíduos ou organizações, geralmente via Internet, e detêm a propriedade de uma carteira de créditos; e (iv) Corretores (*Brokers*): não possuem os créditos, mas viabilizam as transações entre compradores e vendedores, sob comissão.

No mercado de balcão as organizações estão cada vez mais integradas verticalmente, e operam como *players* em mais de uma das categorias mencionadas. Muitos destes *players* também estão envolvidos em outros negócios além de somente venderem Reduções Verificadas de Emissões (VERs) ou Unidades de carbono Verificadas (VCUs). Por exemplo, a maioria das corretoras mais importantes do mercado europeu e americano, que trabalham com VERs, também intermedeia a compra e a venda de EUAs, ERUs e CERs nos mercados regulamentados.

Alternativamente, para grandes organizações sem fins lucrativos, como, por exemplo, as ONGs, o mercado voluntário de carbono é apenas um dos inúmeros mecanismos financeiros que viabilizam a execução de projetos de conservação da natureza que sejam de seus interesses.

Existe uma série de padrões na cadeia de valor do mercado de balcão. No nível mais simples, um comprador final faz simplesmente o negócio com um desenvolvedor de projeto que vise redução de emissões. A um nível mais complexo, os créditos de carbono serão objeto de um negócio entre o desenvolvedor de projeto e um agregador de créditos, mediado por um corretor (*broker*). Concretizada a transação inicial, os créditos são vendidos para um varejista que os vende em seguida para um comprador final.

Antes de 2006, a maioria das Reduções Verificadas de Emissões (VERs), era comprada diretamente de desenvolvedores de projetos ou eram negociadas com a intervenção de varejistas que as compravam diretamente dos desenvolvedores de projetos. No entanto, como o mercado vem amadurecendo, o número de intermediários que passaram a facilitar as transações vem aumentando.

Para que se tenha ideia do potencial, no longo prazo, do volume e dos valores a serem negociados no mercado internacional de carbono, há de se considerar no contexto deste trabalho estudos de DECC (2011)²³ que estimaram que o preço da tonelada de carbono valerá, no mercado britânico, entre £70 em 2030 e £200 por volta do ano 2050. O valor de setenta libras esterlinas (£70) para a tonelada de carbono em 2030, por exemplo, em 14 de dezembro de 2011, convertido para Euros, equivaleria a exatamente €82,70²⁴, sinalizando uma projeção de aumento futuro do preço da tonelada de cerca de 440% em relação ao valor que foi pago pela tCO₂e no primeiro leilão brasileiro, realizado em setembro de 2007.

Em termos de oferta de créditos de carbono (em volume), no mundo, de um total de 8.659 milhões tCO₂e, com base no mês de junho de 2011, a China liderava o *ranking* de países Não-Anexo I de Quioto, com 47% dos créditos, a Índia vinha em segundo lugar com 25%, o Brasil em terceiro com 5%, além de México e Coréia do Sul com 2% ambos, em quarto (MCTI, 2011).

²³ Disponível em: [http://www.decc.gov.uk/what we do/a low carbono](http://www.decc.gov.uk/what%20we%20do/a%20low%20carbono). Acesso em: 14/12/2011.

²⁴ Conversão feita com base na taxa de câmbio disponibilizada em <http://www.bcb.gov.br/?txcambio>. Acesso em 14/12/2011.

2.7 Mercados regionais de carbono

Vários países, grande emissores de GEE, estão entre aqueles que se organizaram, internamente, com o fim de controlar de forma mais eficaz as suas emissões de carbono, e, assim, mostrarem ao mundo que estão, ao menos, tomando providências duras neste sentido, ante o fiasco que vêm demonstrando ao não atingirem as metas compromissadas desde 1997, em Quioto.

O Japão, quinto maior emissor de GEE do planeta, e embora este país tenha desde o ano 2010 um esquema de comércio de emissões restrito ao Município de Tóquio, suas autoridades revelaram ao público em geral, em dezembro de 2010, que o receio de que os empregos e a sua competitividade internacional seriam perdidos, que iriam abandonar a sua proposta de criar um regime de comércio nacional de emissões, e ainda, que o país está planejando o desenvolvimento de uma proposta alternativa ao Protocolo de Quioto, uma vez que a infraestrutura atual, ao ver daquele país asiático, não inclui todos os maiores emissores de GEE do planeta, como China, Índia, e Brasil.

A China, atualmente o maior emissor de GEE do mundo, seguido pelos Estados Unidos, vem divulgando que o seu Programa Quinquenal para Redução de Emissões (2011 - 2015) já inclui um plano que criará em curto espaço de tempo um mercado de carbono que se propõe a ser o maior do mundo, e que as operações serão desencadeadas pela Bolsa do Clima de Tiajin (*“The Tiajin Climate Exchange – TCX”*). O governo chinês também anunciou que este novo plano incluiu metas para reduzir as emissões de dióxido de carbono, assim como para o consumo de energia.

Na Austrália, outro grande emissor de GEE, o governo desde 1º de julho de 2012 fixou o preço-sombra do carbono na forma de uma taxa. A lei incluiu um regime de preço fixo, que contará com uma assistência financeira do governo para empresas carbono-intensivas do país, e também para indústrias australianas que competem no comércio exterior.

A Índia, por sua vez, lançou em abril de 2011, o seu sistema de comércio de emissões, batizado de *“Perform, Achieve and Trade System”*, que em tradução livre seria *“Conseguir e Executar um Sistema de Comércio”*, que pretende ser um regime obrigatório voltado exclusivamente para a eficiência energética, com a comercialização das licenças iniciando-se em 2014. O objetivo do governo indiano é melhorar a relação custo-efetividade

aprimorando a eficiência energética industrial no âmbito da política pública indiana, batizada de “*Missão Nacional para a Melhoria da Eficiência Energética*”.

O regime indiano abrange instalações que representam mais de 50% do combustível fóssil utilizado no país, com o governo esperando reduzir as emissões de CO₂ em 25 milhões de toneladas por ano, até fins de 2014/15. O país, por sinal, já tem em vigor um imposto sobre a importação de carvão estrangeiro e também pelo uso industrial do carvão nacional.

No Brasil, até o final do ano de 2012, não havia ainda um sistema formal, regulado (tipo *cap-and-trade*), para o comércio de carbono, embora sejamos o terceiro do mundo em número de projetos MDL (Quioto), atrás apenas em número de projetos similares, da China e da Índia. No mercado voluntário, como veremos adiante, os negócios com carbono no mercado brasileiro se limita a leilões periódicos promovidos pela Bolsa Mercantil e de Futuros da Bolsa de Valores do Estado de São Paulo (BM&F BOVESPA).

De acordo com GLOBO (2012)²⁵, em dezembro de 2011, o Governo do Estado do Rio de Janeiro, o Município do Rio de Janeiro e a recém-criada Bolsa Verde do Rio (BVRio), firmaram um acordo de cooperação para desenvolver um mercado de ativos ambientais, com o objetivo de promover a economia verde no estado. O convênio selou a criação da primeira Bolsa Verde do país, com sede no Município do Rio de Janeiro, e início das operações previsto ainda para 2012, o que ainda não se tem notícia se ocorreu até o fechamento desta dissertação.

A chamada “*Bolsa Verde*” também pretende ser incluída no projeto do Governo do Estado, denominado Distrito Verde, que reunirá algumas empresas de tecnologia e de infraestrutura verde em terrenos disponíveis na Ilha do Fundão. A bolsa de ativos verdes comercializará créditos de carbono de reposição florestal. Com isso, empresas serão obrigadas a refazer a floresta que por acaso destruíram, e outras que têm áreas reflorestadas poderão vender os créditos recebidos. Na verdade, será introduzido um elemento de mercado que valoriza as empresas que conseguirem cumprir com sobras suas metas de redução ou de reflorestamento.

²⁵ Informação idêntica foi disponibilizada desde 19/01/2012, na página web <http://ama2345decopacabana.wordpress.com/tag/lixo>. Título da nota divulgada no blog: “*Lançada no Rio a primeira Bolsa Verde do país*”. Acesso em: 27/03/2012.

Pelo que vem sendo divulgado na mídia, será implantada uma plataforma de negociação destinada a se tornar um referencial no país para a comercialização de ativos ambientais. Esses ativos vão abranger os bens existentes, como energia renovável ou biomassa, mas também os direitos de natureza regulatória relacionados ao cumprimento de obrigações ambientais que serão impostas, como recuperação de áreas florestais e tratamento de resíduos, entre outras ações.

Criada sob a forma de associação civil sem fins lucrativos, a BVRio terá como missão desenvolver esse novo mercado de ativos ambientais no Estado do Rio de Janeiro, visando promover a economia verde. Primeiramente, segundo a mencionada notícia, será implantada uma plataforma de negociação destinada a se tornar referência no país para a comercialização de ativos ambientais. Esses ativos irão abranger não só os bens já existentes, como energia renovável ou biomassa, mas também os direitos de natureza regulatória relacionados ao cumprimento de obrigações ambientais como, recuperação de áreas florestais, tratamento de resíduos, emissão de gases ou de efluentes.

Em um momento inicial, a Bolsa Verde concentrará suas atividades, no desenvolvimento dos seguintes ativos:

- ✓ Créditos de carbono - Inicialmente relativos ao mercado de carbono do Estado do Rio de Janeiro e, em momento posterior, dos outros estados brasileiros – Como meio de combater o aquecimento global, diversos estados brasileiros estão estabelecendo metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa (CO₂ e outros). Os créditos de carbono serão atribuídos às empresas que reduzirem suas emissões de carbono além da meta estabelecida e poderão ser vendidos para aquelas que não conseguiram atingir suas metas;
- ✓ Créditos de efluentes industriais da Baía da Guanabara – Funcionará de modo similar aos créditos de carbono, mas com relação às emissões de poluentes líquidos na Baía da Guanabara;
- ✓ Créditos de reposição florestal relativos à Reserva Legal – A lei florestal brasileira ainda em vigor no fechamento deste texto, determina que os proprietários rurais devem manter em suas propriedades uma área com cobertura florestal nativa (a chamada Reserva Legal). Por meio dos créditos de reposição florestal, os proprietários que têm em suas propriedades florestas área superior à obrigatória poderão vender certificados para aqueles que precisam recuperar suas áreas de reserva legal que foram desmatadas;

- ✓ Créditos de reposição de supressão de vegetação – De acordo com a lei, quem utiliza matéria-prima florestal oriunda de supressão de florestas nativas tem a obrigação de repor essas florestas. Os créditos de reposição permitirão que empresas que façam a reposição (plantio) de modo voluntário possam vender os créditos correspondentes àqueles que têm a obrigação de repor a floresta; e
- ✓ Créditos de logística reversa e reciclagem – A lei hoje determina que todas as empresas envolvidas na cadeia produtiva (fabricação, importação, distribuição e comercialização) de determinados produtos têm a obrigação de recolher os produtos usados e/ou suas embalagens para reciclagem ou para destino final adequado. Por meio dos créditos de logística reversa, organizações (empresas ou cooperativas) que realizarem tal atividade poderão vender esses créditos para as empresas que têm a obrigação da logística reversa.

CAPÍTULO 3

3. O SETOR ENERGÉTICO E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Segundo IEA (2013), o setor energético é de longe a maior fonte emissora de GEE no mundo, respondendo por mais de dois terços das emissões totais em 2010. Cerca de 90% da energia relacionada às emissões de GEE são de dióxido de carbono e 9% são de metano, sendo este último tratado neste trabalho em termos de dióxido de carbono equivalente. O setor energético é a segunda maior fonte de emissões de metano do mundo, perdendo apenas a agricultura. No relatório mencionado, a IEA estimou que as emissões do setor energético decorrentes do metano foram de 3,1 giga toneladas de CO₂e em 2010. Assim sendo o setor energético tem um papel crucial sobre o seu uso de forma racional, nas discussões sobre mudanças climáticas.

Portanto, não seria razoável discutir a modelagem de preços do carbono sem antes apresentar os efeitos sobre os preços do carbono que a utilização intensiva de combustíveis fósseis tem na economia mundial, principalmente nos países desenvolvidos e naqueles considerados de economias emergentes.

Por sua vez, o mundo consumiu, em 2011, cerca de 13 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), representando 48 vezes a demanda brasileira de energia. Deste montante, 81% são oriundos de combustíveis fósseis, responsáveis por emissões de CO₂ da ordem de 31 bilhões de toneladas, correspondentes a 65% das emissões globais mundiais. (VENTURA FILHO, 2013)²⁶

Em paralelo, IEA (2013) divulgou recentemente que as emissões acumuladas de GEE para a atmosfera, relacionadas ao setor energético, por determinados países e regiões geopolíticas do planeta, até o final de 2012, ultrapassaram a casa dos 550 gigas toneladas (Gton).

²⁶ O mesmo artigo de VENTURA FILHO, também pode ser encontrado em: <http://interessenacional.uol.com.br/index.php/edicoes-revista/energia-eletrica-no-brasil-contexto-atual-e-perspectivas>. Acesso em: 10/07/2013.

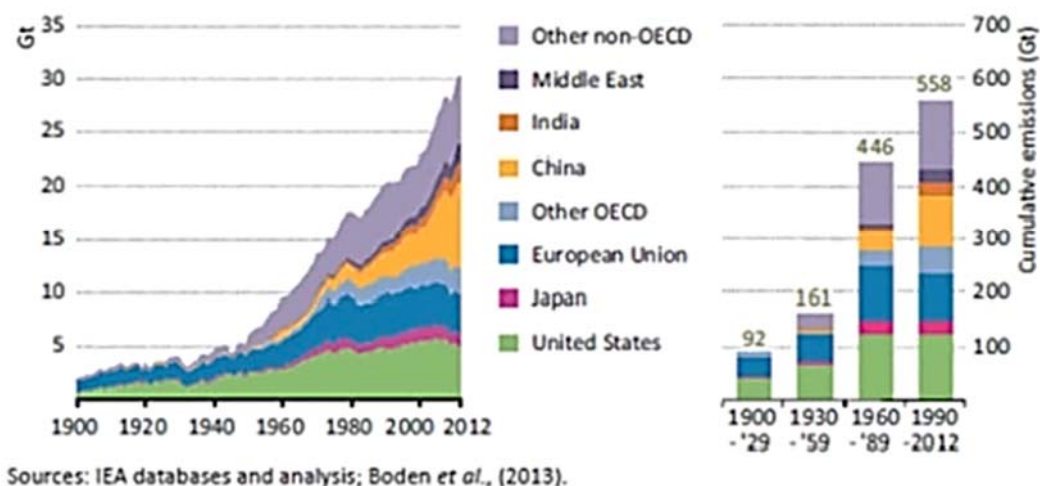


Figura 6: Emissões acumuladas de GEE até 2012 (Gt).
Fonte: Extraída de IEA (2013).

Na Figura 6 se pode constatar a enorme contribuição da China, assim como dos países europeus não integrantes da OECD (da ex-URSS), da União Europeia, dos Estados Unidos além do Japão para o montante das emissões acumuladas, embora uma comparação entre os períodos de tempo das medições (1960 – 1989 e 1990 – 2012) indique que a União Europeia contribuiu mais para as emissões acumuladas nos últimos 22 anos do que nos 29 anos anteriores (de 1960 a 1989), ao passo que tanto os Estados Unidos quanto o Japão mantiveram constantes as suas emissões ao longo dos últimos 52 anos, ou seja, algo em torno de 120 Gt.

Em outra linha de raciocínio, Ventura Filho (2013) afirma que uma expressiva fração da demanda mundial de energia, ou 48 bilhões de tep, mais precisamente 37%, foi destinada à geração de energia elétrica, resultando em 22 mil terawatts/hora (TWh) gerados, equivalentes a 39 vezes o montante gerado pelo Brasil.

Entre todas as formas secundárias de energia, a eletricidade é a que melhor se adapta e se insere na vida moderna, sendo a fonte mais nobre e mais versátil, estando presente em todos os usos energéticos finais para os consumidores, sendo certamente, aquela que mais contribui para o desenvolvimento econômico e o bem-estar da sociedade.

Isto se evidencia quando se considera que no período compreendido entre 1973 (ano do primeiro choque do petróleo) a 2010, para que o PIB mundial se elevasse, em média, 3,2% ao ano, o consumo de energia elétrica apresentou uma taxa, mais elevada, de

3,5%, diante do valor de apenas 2% para o consumo energético total. Assim, em termos mundiais, a energia elétrica apresentou um crescimento superior aos da economia e da energia total.

De acordo com a IEA (2012), cerca de 1,3 bilhões de pessoas, 18% da população mundial, ainda não tem acesso à eletricidade. Isto indica que esta fonte energética deverá ter uma expansão acentuada nas próximas décadas, e, portanto, investimentos em geração e em distribuição dessa energia deverão fazer parte do planejamento estratégico dos países em desenvolvimento, principalmente.

Diversos estudos vêm demonstrando que a demanda de eletricidade mundial, nas próximas décadas, poderá crescer a taxas superiores a 2% ao ano, diante de apenas 1% para a demanda total de energia. A elasticidade renda²⁷ do consumo de energia elétrica estaria assim, abaixo de 1%, devido ao compromisso com o desenvolvimento sustentável que se visualiza, no futuro, para o mundo, bem como o uso mais eficiente dos recursos naturais do planeta, inclusive o da energia.

Finalmente, os mesmos estudos indicam, ainda, que a economia mundial poderia apresentar um cenário de crescimento próximo a 3%, em função das perspectivas para os países em desenvolvimento, incluindo aqueles menos desenvolvidos da África, o que certamente irá impactar acentuadamente as emissões de GEE para a atmosfera conforme a decisão de cada país quanto às formas de geração da eletricidade de que necessitarão.

Para podermos continuar com a presente discussão iremos em seguida discorrer sobre a oferta de energia primária no mundo.

²⁷ Define-se, em economia, como elasticidade-renda, a variação percentual da quantidade demandada, dada uma variação percentual na renda do consumidor.

3.1 Oferta de energia primária no mundo

Dados de 2009 da IEA (2012) sobre a oferta de energia primária no mundo são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4 - Oferta de energia primária no mundo (2009).

Fonte	%	Total por fonte (Mtoe)
Petróleo	32,8	3.985
Carvão	27,2	3.305
Gás Natural	20,9	2.539
Nuclear	5,8	705
Hidráulica	2,3	279
Biocombustível e resíduos	10,2	1.239
Outras	0,8	98
Total Geral	100	12.150

Fonte: IEA (2012), adaptado.

Podemos constatar pelos números acima, que petróleo e carvão mineral lideram, somados, 60% da oferta mundial da energia primária à disposição no mercado, seguidos pelo gás natural, fóssil menos poluente que os dois primeiros, e que contribui com quase 21% da oferta total de energia primária, sendo a produção e o consumo de energia fóssil pela economia mundial, uma das bases que servem para mensuração do desenvolvimento econômico das sociedades modernas (*business as usual*).

Segundo Ellerman *et al.* (2010) esses três combustíveis fósseis são *commodities* que norteiam diretamente os preços dos certificados de carbono, assim como são também os *drivers* que impulsionam o desenvolvimento da economia mundial, servindo suas produções e seus consumos como verdadeiros indicadores do grau de desenvolvimento das atividades econômicas no nosso planeta, a despeito das emissões de GEE maiores ou menores que provocam se comparados entre si.

Quanto mais petróleo, carvão e gás natural são consumidos em uma economia, mais desenvolvimento se considera que um país ou região alcançou em determinado período de tempo. Trata-se, no entanto, de um entendimento considerado extremamente equivocado nos dias de hoje e bastante questionado pela comunidade científica, porém ainda admitido de forma ampla pela sociedade em geral.

Nas seções subseqüentes será discutido, separadamente, cada um destes três importantíssimos insumos da economia global, assim como os seus efeitos sobre os preços do carbono. .

3.1.1 *Petróleo*

O petróleo é um recurso natural não renovável, e sua prospecção e extração envolvem elevados custos e complexidade de estudos. No modelo “*business as usual*” (BAU) adotado pela sociedade, é a principal fonte de energia da economia, servindo como base para fabricação dos mais variados produtos, dentre os quais se destacam benzinhas, óleo diesel, gasolina, alcatrão, polímeros plásticos e até mesmo medicamentos. Vários produtos também são derivados do petróleo como, por exemplo, a parafina, GLP, produtos asfálticos, nafta petroquímica, querosene, solventes, óleos combustíveis, óleos lubrificantes, óleo diesel e combustível de aviação.

Na Tabela 5 serão apresentados os números referentes à produção de petróleo no mundo, tendo como ano base 2010.

Tabela 5 - Produção mundial de petróleo (2010)

Região	%	Total por Região (Mt)
Oriente Médio	30,4	1.207
OECD	21,7	862
Não OECD-Europa e Eurásia	16,6	660
África	12,5	497
América Latina	9,5	377
China	5,0	199
Ásia (sem a China)	4,3	171
Total	100	3.973

Fonte: IEA (2012), adaptado.

A Federação Russa foi a maior produtora de petróleo do mundo em 2010, sendo responsável por 12,6% da produção mundial, seguida pela Arábia Saudita (11,9%) e pelos Estados Unidos (8,5%). Outros países também se destacaram como grandes produtores, exportadores e importadores de petróleo cru como se verá em seguida. (IEA, 2012).

Tabela 6 - Produtores, exportadores e importadores de petróleo (2010).

Países Produtores *	Mt	% Total Mundial	Países Exportadores**	Mt	Países Importadores**	Mt
Federação Russa	502	12,6	Arábia Saudita	313	Estados Unidos	510
Arábia Saudita	471	11,9	Federação Russa	247	China	199
Estados Unidos	336	8,5	Irã	124	Japão	179
Irã	227	5,7	Nigéria	114	Índia	159
China	200	5,0	Emirados Árabes	100	Coréia	115
Canadá	159	4,0	Iraque	94	Alemanha	98
Venezuela	149	3,8	Angola	89	Itália	80
Mexico	144	3,6	Noruega	87	França	72
Nigéria	130	3,3	Venezuela	85	Holanda	57
Emirados Árabes	129	3,2	Kuwait	68	Espanha	56
Resto do Mundo	1.526	38,4	Outros	574	Outros	477
Mundo	3.973	100,0	Total	1.895	Total	2.002

Fonte: IEA (2012), adaptado.

* Dados de 2010. ** Dados de 2009.

3.1.1.1 Preços históricos do petróleo

Nos últimos sete anos, os preços do barril de petróleo cru têm oscilado de forma bem diferente, no mercado internacional, em relação àqueles das décadas de 1970, 1980, 1990 e início do Século XXI. Pode-se debitar esta relativa estabilização de preços ao esforço concentrado de alguns países desenvolvidos visando reduzir as suas emissões de GEE por meio de investimentos maciços em eficiência energética, em fontes alternativas para geração de energia, assim como pela adoção, em determinados países desenvolvidos, de práticas de taxaço sobre o carbono emitido, como já discutido neste texto, dentre outras providências, vem se refletindo em preços do barril de petróleo relativamente estabilizados.

Afora as práticas especulativas periódicas exercidas pelos grandes *dealers* do mercado - os países integrantes da OPEP - atualmente sem a força política de anos atrás, pode-se afirmar que os preços do petróleo vêm se mantendo ao nível dos indicadores de preços computados pelas maiores economias do planeta.

Após o pico registrado em junho de 2008 (€85,55), três meses antes do início da recessão na América do Norte e na Europa, quando o preço do barril em comparação ao quanto este mesmo barril valia em dezembro de 2007 (€62,77), subiu 36,29%, podemos constatar que daí em diante ele começou a cair, somente retomando uma curva de alta a partir

de março de 2009, atingindo um novo patamar de preços dois anos depois, em março de 2012, atingindo o valor de €94,63.

É o que se pode constatar na tabela a seguir.

Tabela 7 - Preços do petróleo no mercado internacional (€/barril)

Mês	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	-	52,53	41,78	62,46	33,90	53,52	72,09	85,96
Fev	-	50,19	44,18	64,30	33,82	54,30	76,18	90,55
Mar	33,76	51,79	46,93	66,53	35,92	58,43	81,75	94,63
Abr	35,01	57,41	49,87	70,12	38,56	63,36	85,35	86,23
Mai	40,22	54,97	49,94	79,67	42,46	60,65	79,87	81,25
Jun	40,09	54,44	53,15	85,55	48,94	61,31	79,02	72,55
Jul	38,35	58,27	56,29	84,91	46,09	58,55	81,07	78,77
Ago	44,65	57,46	51,98	76,06	50,82	59,49	76,76	84,99
Set	47,84	49,32	55,51	68,95	46,49	59,52	80,67	
Out	52,14	46,29	58,37	54,75	49,40	59,68	79,90	
Nov	51,39	45,40	63,02	41,82	51,66	62,39	81,41	
Dez	48,71	47,16	62,77	30,99	51,11	69,45	81,93	
Média	43,22	52,10	52,82	65,51	44,10	60,05	79,67	

Fonte: IEA (2012), adaptado.

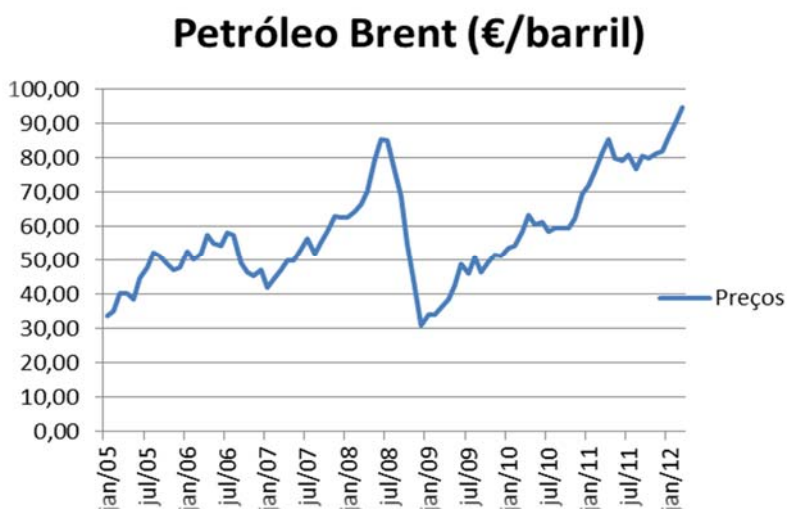


Figura 7 - Preços do petróleo no mercado internacional (€/barril)

Fonte: IEA (2012).

3.1.2 Carvão mineral

O carvão mineral é um combustível não renovável que ocorre em estratos chamados *camadas de carvão*. As formas mais duras, como o antracito, podem ser consideradas rochas metamórficas devido à posterior exposição a temperatura e pressão elevadas. É composto basicamente por carbono, mas contém quantidades variáveis de enxofre, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, além de elementos vestigiais. Quanto maior o teor de carbono, mais puro ele é considerado.

Existem quatro tipos principais de carvão mineral na natureza: turfa, linhito, hulha e antracito (em ordem crescente do teor de carbono). Ele é extraído do solo por mineração aberta ou subterrânea. Entre os diversos combustíveis produzidos e conservados pela natureza sob a forma fossilizada, o carvão mineral é o mais abundante e também o mais poluente, sendo produzido e comercializado em todo o mundo sob as duas formas encontradas normalmente na natureza: carvão duro (*hard coal*), e carvão marrom (*brown coal*).

A Austrália é o país que domina a exportação desta *commodity* no mercado mundial, sendo carvão deste país largamente utilizado para a produção de coque pelas siderúrgicas ao redor do planeta. Por ser o combustível mais barato entre os fósseis, e por ser também aquele que domina as matrizes energéticas de diversos países, como a China, Estados Unidos, Japão e Alemanha, além de outros do leste europeu, o carvão australiano (marrom) tem larga procura, embora dentre os fósseis, ser aquele que notoriamente causa as maiores emissões de GEE para a atmosfera, desde a sua extração no solo, no transporte até o consumidor final, culminando com seu emprego como fonte primária nos diversos processos industriais.

Para que se possa ter uma exata noção da influência dos preços do carvão sobre os preços dos certificados de carbono, por exemplo, uma enchente na Austrália – como mencionado, maior exportadora de carvão “marrom” do mundo - que venha a inundar as minas localizadas no país, por longo tempo, ou o mesmo ocorrendo na China - maior produtora e importadora de carvão “duro” do planeta - obrigaria os países importadores de carvão a, temporariamente, gerar a energia de que necessitam com outro tipo combustível.

Dados considerados relevantes para este trabalho, obtidos sobre o carvão mineral, são apresentados em seguida:

Tabela 8 - Produção mundial de carvão (2010).

Região	%	Total por Região (Mt)
China	51,1	3.161
OECD	23,7	1.466
Ásia (sem a China)	13,0	804
Não OECD-Europa e Eurásia	6,6	408
África	4,2	260
América Latina	1,4	87
Total	100	6.186

Fonte: IEA (2012), adaptado.

Na análise dos números acima, impressiona a produção chinesa, sendo tal país responsável por mais da metade da produção mundial. Se considerarmos também o fato da China ser também o segundo maior importador de carvão, conforme nos mostra a Tabela 6, e se somada a sua produção de carvão com a respectiva importação (3,31 Mt), com exportação zero, temos a explicação pela qual este país da Ásia ser extremamente dependente de carvão para a produção da energia que necessita para o seu desenvolvimento, e também a razão pela qual ser a China nos dias de hoje a maior emissora de GEE do planeta.

Tabela 9 - Produtores, exportadores e importadores de carvão (2010).

Países Produtores	Mt	Países Exportadores	Mt	Países Importadores	Mt
China	3.162	Austrália	298	Japão	187
Estados Unidos	932	Indonésia	162	China	157
Índia	538	Federação Russa	89	Coréia	119
Austrália	353	Colômbia	68	Índia	88
África do Sul	255	África do Sul	68	Tapei Chinesa	63
Federação Russa	248	Estados Unidos	57	Alemanha	45
Indonésia	173	Cazaquistão	33	Turquia	27
Cazaquistão	105	Canadá	24	Reino Unido	26
Polônia	77	Vietnam	21	Itália	22
Colômbia	74	Mongólia	17	Malásia	19
Resto do Mundo	269	Outros	19	Outros	196
Mundo	6.186	Total	856	Total	949

Fonte: IEA (2012), adaptado.

Com base nos números das Tabelas 8 e 9, precedentes, foram obtidos os gráficos apresentados em seguida:

HARD COAL - PRINCIPAIS PRODUTORES

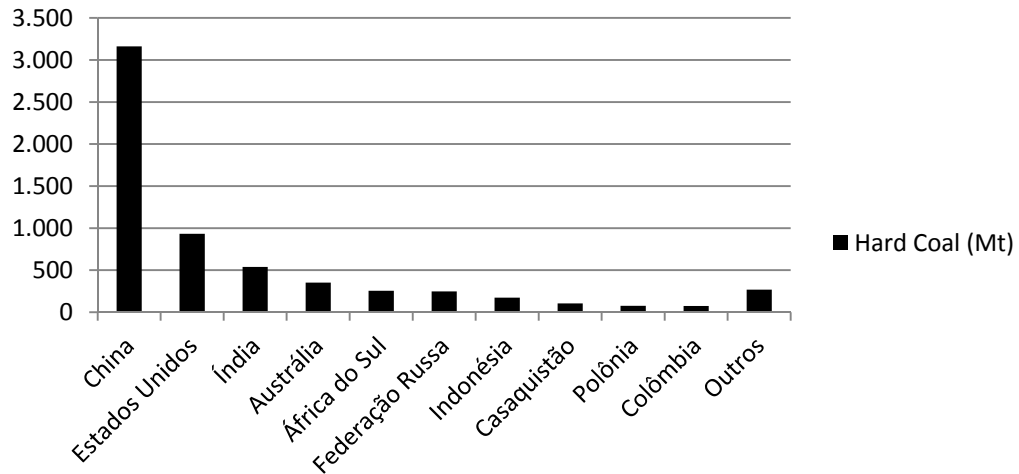


Figura 8 – Principais produtores de carvão duro (2010).
Fonte: IEA (2012)

BROWN COAL - PRINCIPAIS PRODUTORES

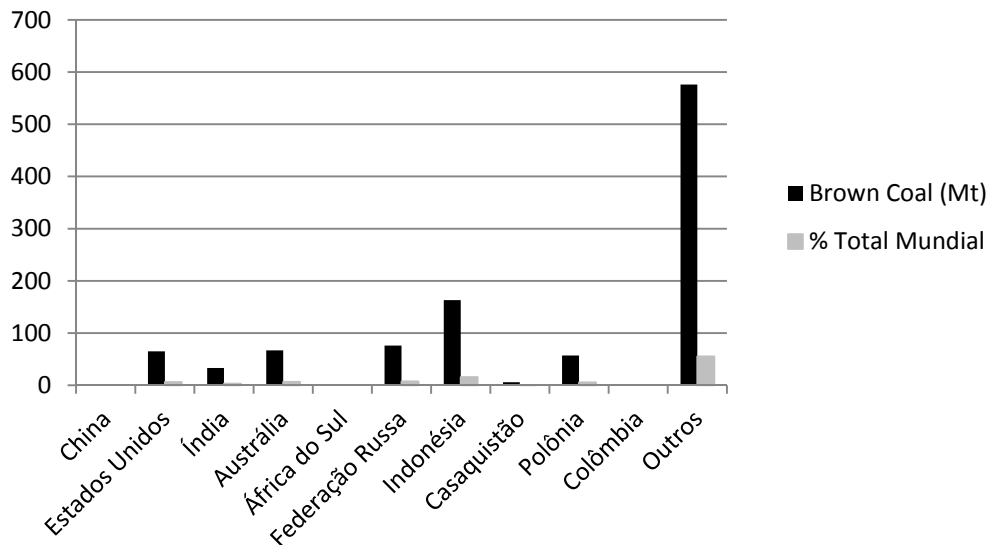


Figura 9 – Principais produtores de carvão marrom (2010).
Fonte: IEA (2012).

Em termos de influência sobre os preços do carbono no médio e no longo prazo, segundo a página do site australiano ABC News²⁸, a China - atualmente um dos grandes *players* do mercado mundial - acaba de criar uma bolsa regional de carbono sob o

²⁸ www.abc.net.au/news/2013-06-18/china-launches-its-first-carbon-trading-scheme/4763770. Acesso em 18/06/2013.

regime *cap-and-trade*. Acredita-se que este novo mercado regional irá alavancar o preço do carbono em todo o mundo, pelo virtual aumento da demanda por parte das empresas chinesas por créditos de carbono, não obstante serem essas inúmeras empresas, somadas, as maiores detentoras de CERs de Quioto (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL), ou seja, se pode imaginar um preço de equilíbrio para o carbono em valor bastante competitivo, em face do tamanho e da pujança da economia chinesa.

3.1.2.1 Preços históricos do carvão

Como pode ser constatado na Tabela 10, o ápice de preços da tonelada de carvão foi atingido justamente na fase anterior ao início da recessão na Europa (Set/2008), refletindo tais preços, posteriormente, a queda do nível das atividades econômicas naquela região e também no Japão, o que ocorreu durante todo o ano de 2009.

Tabela 10 - Preços do carvão no mercado internacional (€/ton.)

Mês	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	43,32	38,23	42,28	66,79	64,77	72,83	106,27	96,16
Fev	41,08	42,81	43,35	95,91	63,17	73,75	100,78	93,32
Mar	41,34	44,34	44,81	81,62	50,13	74,53	96,54	85,29
Abr	42,44	46,17	44,49	83,68	51,64	80,05	90,90	
Mai	43,32	44,14	44,41	91,74	50,64	85,33	88,40	
Jun	44,92	44,37	49,19	110,06	54,57	86,18	88,83	
Jul	45,31	44,56	52,58	122,30	56,13	80,56	90,22	
Ago	42,82	42,60	54,55	113,38	54,45	74,62	89,10	
Set	39,56	39,65	52,78	111,87	49,77	77,79	95,50	
Out	37,86	37,43	56,34	86,97	51,40	74,14	93,01	
Nov	34,60	38,27	61,73	77,64	56,61	83,61	89,79	
Dez	34,55	40,34	66,92	62,80	60,95	95,88	89,17	
Média	40,93	41,91	51,12	92,06	55,35	79,94	93,21	

Fonte: World Bank (2012).

Levando-se em conta a tabela precedente, podemos concluir que houve uma lenta recuperação dos preços do carvão australiano, iniciada em janeiro de 2010, e um pequeno novo período de alta em 2011, prosseguindo esta mesma tendência até o primeiro trimestre de 2012.

O gráfico resultante melhor representa os números da tabela anterior.

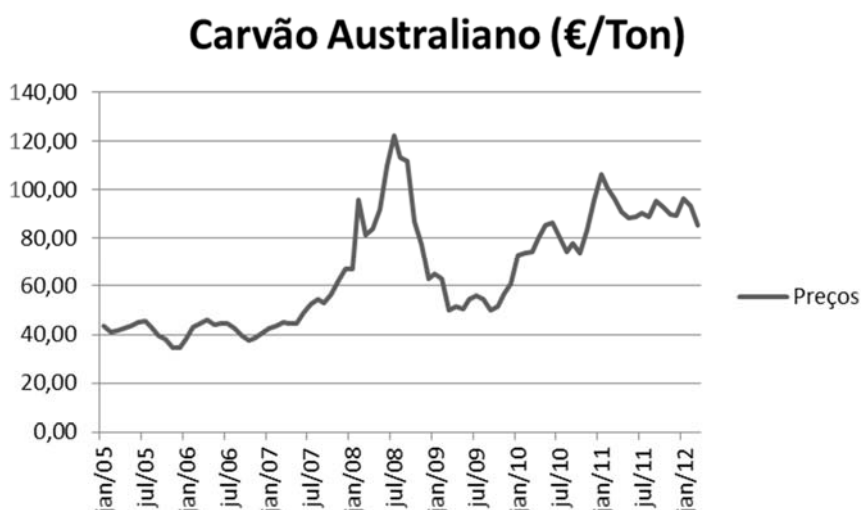


Figura 10 - Preços do carvão australiano.
Fonte: World Bank (2012).

3.1.3 Gás natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, encontrada no subsolo, na qual o CH₄ (metano) tem uma participação superior a 70 % em volume, sendo considerado pela ciência como uma fonte de energia não renovável. A composição do gás natural pode variar bastante, dependendo de fatores relativos ao campo em que é produzido, do processo de produção, do seu condicionamento, do seu processamento, e de como é transportado. Ele é encontrado no subsolo através de jazidas de petróleo, por acumulações em rochas porosas, isoladas do exterior por rochas impermeáveis, associadas ou não a depósitos petrolíferos. É resultado da degradação da matéria orgânica de forma anaeróbica oriunda de quantidades extraordinárias de micro-organismos que, em eras pré-históricas, se acumularam nas águas litorâneas dos mares da época. Essa matéria orgânica foi soterrada a grandes profundidades e, por isto, sua degradação se deu fora do contato com o ar, a grandes temperaturas e sob fortes pressões.

A Tabela 11 sumariza a produção mundial de gás natural por região geopolítica do planeta, assim como destaca a produção da China, por sua importância como a segunda maior economia do planeta.

Tabela 11 - Produção mundial de gás natural (2010).

Região	%	Total por Região (bcm) ²⁹
OECD	36,0	1.654
Não OECD-Europa e Eurásia	25,2	827
Ásia (sem a China)	10,2	335
África	6,4	210
América Latina	4,9	161
China	2,9	95
Total	100	3.282

Fonte: IEA (2012), adaptado.

Os principais países produtores, exportadores e importadores de gás natural, são listados em seguida, segundo dados extraídos da IEA (2012).

Tabela 12 - Produtores, exportadores e importadores de gás natural (2010).

Países Produtores	bcm	% Total Mundial	Países Exportadores	bcm	Países Importadores	bcm
Federação Russa	637	19,4	Federação Russa	169	Japão	99
Estados Unidos	613	18,7	Noruega	101	Alemanha	83
Canadá	160	4,9	Qatar	97	Itália	75
Irã	145	4,4	Canadá	72	Estados Unidos	74
Qatar	121	3,7	Argélia	55	França	46
Noruega	107	3,3	Indonésia	42	Coréia	43
China	97	3,0	Holanda	34	Turquia	37
Holanda	89	2,7	Malásia	25	Reino Unido	37
Indonésia	88	2,7	Turquemenistão	24	Ucrânia	37
Arábia Saudita	82	2,5	Nigéria	24	Espanha	36
Resto do Mundo	1.143	34,7	Outros	165	Outros	253
Mundo	3.282	100,0	Total	808	Total	820

Fonte: IEA (2012), adaptado.

Dentre petróleo, carvão mineral e gás natural, este último é o combustível que menos emite GEE para a atmosfera. Investimentos em eficiência energética por parte das empresas, o uso do transporte coletivo em detrimento do transporte individual, investimentos em fontes renováveis, uma produção mais limpa em termos globais, assim como a prática pela sociedade em geral de um consumo mais consciente, que venham todos, em conjunto, forçar as empresas ao redor do mundo a substituírem o carvão mineral, o petróleo e seus derivados, por fontes mais limpas, o que caracterizaria a chamada “economia de baixo carbono”,

²⁹ bcm = billion cubic meters = bilhões de metros cúbicos.

certamente iria resultar em pegadas de carbono nacionais mais aceitáveis, assim como em uma taxa bem menor do crescimento da concentração de GEE na atmosfera, conforme foi pregado por STERN (2007), reduzindo-se, desta forma, no longo prazo, nos países onde o mercado de carbono é regulado pelo sistema *cap-and-trade*, a demanda das empresas por esses créditos, o que, por via de consequência, faria com que os preços do carbono no mercado internacional se reduzissem.

Apresentados os dados de produção e de importação do petróleo, do carvão mineral e do gás natural, entendemos ser necessária mostrar a importância de tais fósseis na produção de energia elétrica (EE) ao redor do mundo, pela influência que podem ter sobre os preços do carbono. (ELLERMAN *et al.* (2010).

A produção mundial de energia elétrica por fonte, segundo IEA (2012), é apresentada na tabela a seguir.

Tabela 13 - Produção mundial de EE por Fonte

Região	%	Total por fonte (TWh)
Carvão	40,6	8.142
Gás Natural	21,4	4.292
Hidro	16,2	3.249
Nuclear	13,4	2.687
Petróleo	5,1	1.023
Outras	3,3	662
Total	100	20.055

Fonte: IEA (2012), adaptado.

Constata-se pelos números acima, que embora seja o combustível fóssil considerado mais poluente, o carvão é o número um no mundo como fonte de energia, principalmente por conta da atuação da China e dos Estados Unidos³⁰ neste mercado, e ainda, pelo fato de ser o combustível mais abundante e mais barato do planeta, sendo também destaque nas matrizes energéticas de diversos países, embora considerado não renovável em nossa escala de tempo.

Todavia, existem reservas estimadas de carvão na natureza para mais 130 anos se tomada como base a produção global registrada em 2011. (BGR, 2012).

³⁰ Nos Estados Unidos, 52% da energia elétrica produzida pelo país provêm do carvão mineral. Na China, este percentual eleva-se para 67%. Os dois países, são os dois maiores emissores de GEE do planeta. Fonte: Agência Internacional de Energia: *Key World Energy STATISTIC 2011*.

Por suas importâncias no controle das emissões de GEE em termos globais, a seguir serão listados os países maiores produtores de eletricidade por fonte, segundo dados de 2009. (IEA, 2012).

Tabela 14 - Maiores produtores de eletricidade, por fonte (2009).

Carvão	TWh	Óleo Combustível	TWh	Gás Natural	TWh
China	2.913	Arábia Saudita	120	Estados Unidos	950
Estados Unidos	1.893	Japão	92	Federação Russa	469
Índia	617	Irã	52	Japão	285
Japão	279	Estados Unidos	50	Reino Unido	165
Alemanha	257	México	46	Itália	147
África do Sul	232	Iraque	43	Irã	143
Coréia	209	Kuwait	38	México	138
Austrália	203	Paquistão	36	Índia	111
Federação Russa	164	Indonésia	35	Espanha	107
Polônia	135	Egito	30	Tailândia	105
Resto do Mundo	1.217	Resto do Mundo	485	Resto do Mundo	1.681
Mundo	8.119	Total	1.027	Total	4.301

Fonte: IEA (2012), adaptado.

A eletricidade gerada com o uso do carvão mineral pode também ser entendida por meio da Figura 11.

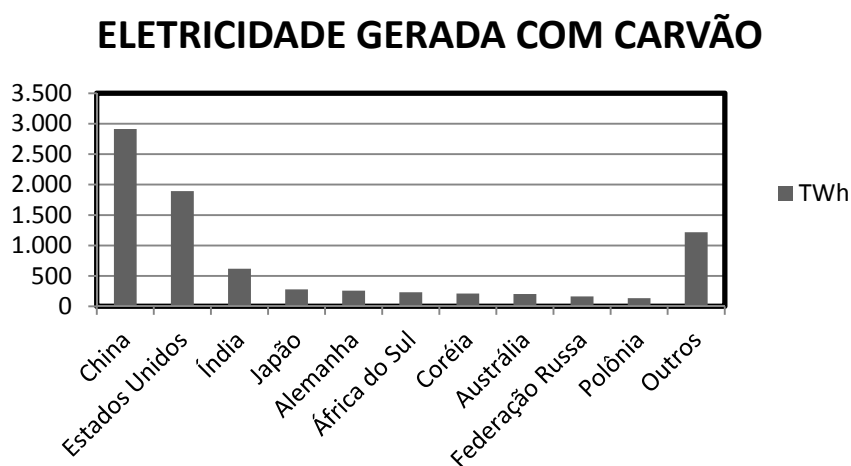


Figura 11 - Energia elétrica gerada com carvão (2009).
Fonte: IEA (2012).

No que se refere à geração de eletricidade com óleo combustível, os países maiores geradores de eletricidade do planeta assim se posicionam, segundo o gráfico a seguir.

ELETRICIDADE GERADA COM ÓLEO COMBUSTÍVEL

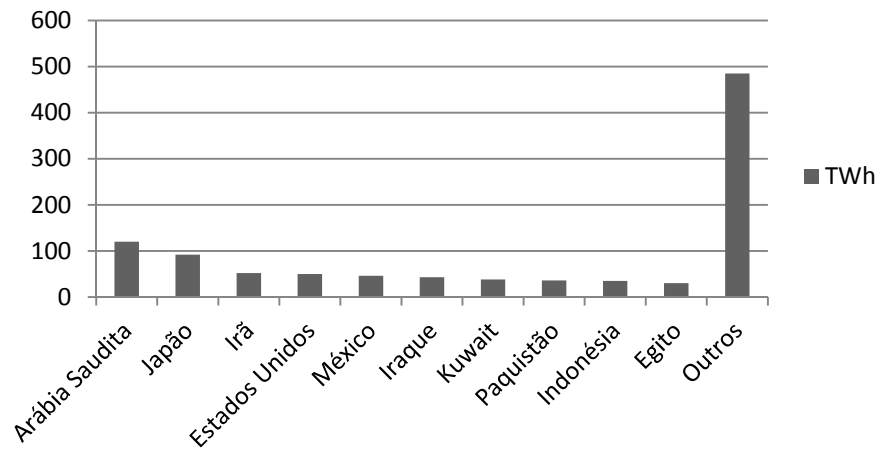


Figura 12 - Energia elétrica gerada com óleo combustível (2009).
Fonte: IEA (2012).

Quanto à geração de eletricidade com gás natural, os dados da Tabela 14 têm a seguinte representação gráfica:

ELETRICIDADE GERADA COM GÁS NATURAL

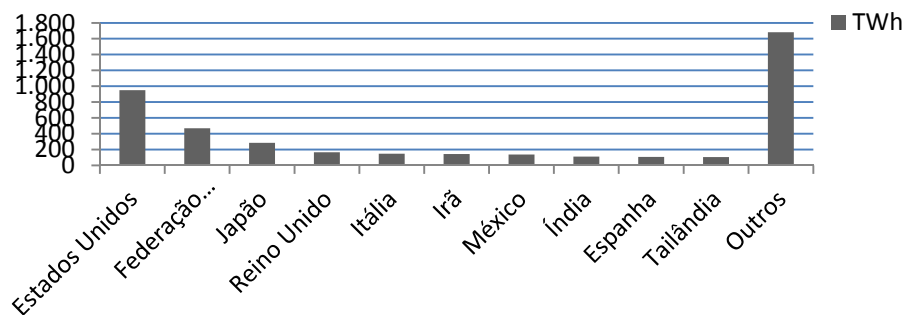


Figura 13 – Energia elétrica gerada com gás natural (2009).
Fonte: IEA (2012).

3.1.3.1 Preços históricos do gás natural

O gás natural extraído dentro das fronteiras da Federação Russa é o mais utilizado pelos países europeus para fins de aquecimento de ambientes, e, em menor escala, para cozimento de alimentos. Ele é fornecido a quase toda a Europa por meio de dutos subterrâneos e seu preço depende em muito da temperatura ambiente registrada nos países para onde ele é fornecido, particularmente, por ocasião do inverno europeu, o que sugere que quanto menor a temperatura ambiente, mais se busca aquecimento, e, portanto, maior é o consumo de gás natural russo na Europa.

Como a Federação Russa praticamente exerce o monopólio deste mercado na Comunidade Europeia, o preço do gás natural, por muitas vezes, é utilizado como fator de pressão política por parte Governo russo, em diversas oportunidades, com este governo aumentando ou reduzindo os preços do gás que exporta, conforme suas necessidades de caixa, ora se aproveitando de uma temperatura ambiente, no inverno, extremamente rigorosa, ora pelo fato de ser um produto abundante em seu território, o que não ocorre nos países vizinhos, dependentes, portanto, do fornecimento dessa *commodity* menos poluente em relação aos demais fósseis.

A Tabela 15 relaciona os preços históricos do gás natural russo, no mercado europeu, registrados no período de janeiro de 2005 a março de 2012 pela corretora norte-americana *IntercontinentalExchange* (ICE)³¹.

³¹ A *IntercontinentalExchange* (ICE) é uma corretora norte-americana que comercializa via internet futuros e derivativos no mercado de balcão (*over-the-counter*). Tem sede no estado de Atlanta e escritórios em Calgary, Chicago, Houston, London, New York e Cingapura. Disponível em: <https://www.theice.com/homepage.jhtml>. Acesso em 25/05/2012.

Tabela 15 - Preços do gás natural russo na Europa
(€/1.000 m³)

Mês	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	138,86	227,86	232,38	251,22	435,84	191,48	247,70	343,73
Fev	139,99	230,99	231,03	250,72	407,49	199,67	241,11	332,75
Mar	138,01	229,43	228,10	238,17	316,69	201,39	234,55	341,17
Abr	153,32	238,83	208,56	272,01	234,75	224,25	250,07	
Mai	156,29	229,49	208,63	275,39	226,88	225,36	251,41	
Jun	163,07	231,67	210,07	275,47	220,90	237,70	250,23	
Jul	183,34	238,43	204,48	327,83	173,52	239,14	282,93	
Ago	179,53	236,04	205,88	345,36	155,94	239,34	278,86	
Set	180,09	237,60	201,84	359,85	152,81	233,87	290,91	
Out	208,55	246,93	216,61	433,47	156,73	223,85	318,06	
Nov	212,61	241,78	209,88	453,01	155,70	228,35	318,65	
Dez	211,35	235,69	211,52	429,77	158,95	237,76	330,87	
Média	172,83	235,40	214,08	326,02	233,02	223,51	274,61	339,22

Fonte: ICE.

Com base nos números acima, foi construído o gráfico a seguir.

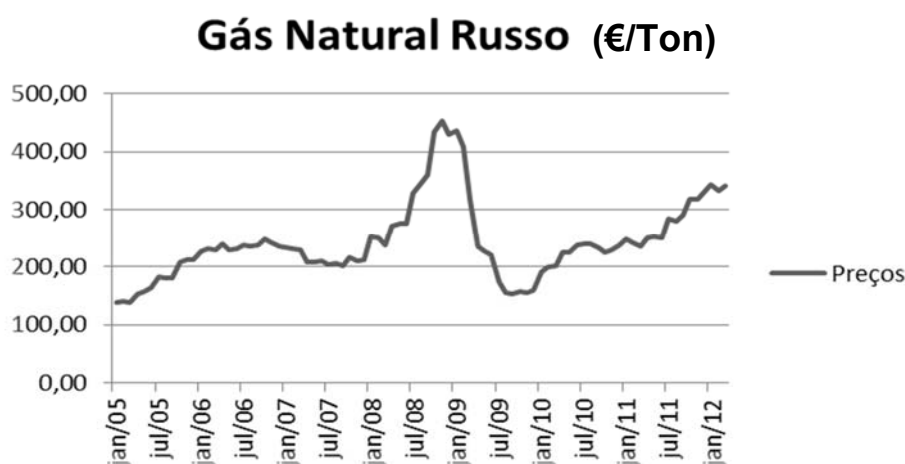


Figura 14 - Preços do gás natural russo na Europa
Fonte: ICE.

3.2. Comparativo de preços no tempo: petróleo X carvão X gás natural

Com base na série de preços do petróleo, carvão e gás natural, extraídos respectivamente das Tabelas 7, 10 e 15 deste trabalho, foi construído o gráfico apresentado em seguida, e a partir dele foram feitas algumas considerações.

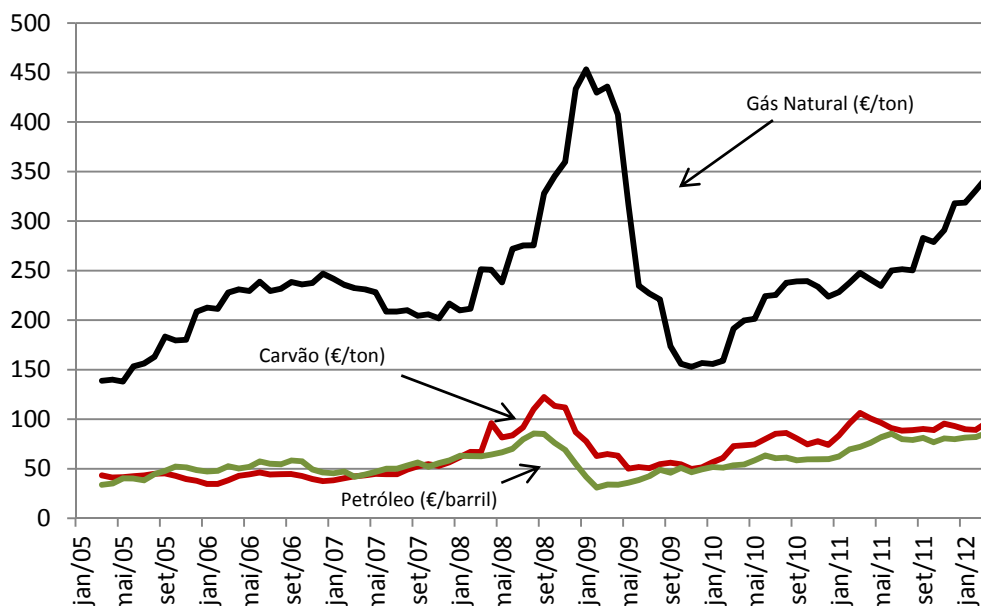


Figura 15 – Petróleo, carvão e gás natural – Série de preços (€/UM).

Fontes: IEA (2012), ICE, e World Bank (2012).

Podemos constatar nas curvas da Figura 15 que os preços dos três combustíveis fósseis tiveram ápices alcançados entre agosto de 2008 (carvão e petróleo), e janeiro de 2009 (gás natural). Carvão e petróleo aconteceram no mês/ano que antecedeu a crise das *subprimes* americanas - já descrita no início deste trabalho. O nível mais elevado de preços do gás natural foi alcançado no rigor do inverno europeu de 2009, onde no mês de janeiro, na Alemanha e alguns países nórdicos, a temperatura média girou em torno dos 5°C negativos, ou seja, em face da busca intensa por esta fonte de aquecimento, e por conta que a crise econômica mundial, iniciada em fins de 2008, ainda não tinha a força suficiente para reduzir a demanda por gás.

A partir do ponto de inflexão de cada uma das três curvas ocorreu uma brusca queda de preços, sendo digno de registro o fato de que enquanto o preço do gás natural atingia o seu ápice (Jan/ 2009), foi exatamente neste mesmo mês/ano que o barril de petróleo registrou o seu menor preço, na faixa de tempo considerada. Pode ser visto também que, a

partir de outubro de 2009, as três *commodities* iniciaram uma curva ascendente de preços até o mês de março de 2012.

3.3 *Efeito dos indicadores econômicos sobre as emissões globais de carbono*

O nível de desenvolvimento das atividades econômicas nos países mais desenvolvidos do planeta, se reflete, como um todo, sobre os preços e sobre a demanda de energia primária no mundo. Recessão, estagnação e desenvolvimento, são os “motores” que aquecem, mantêm estáveis, ou que reduzem a demanda por combustíveis fósseis pelas indústrias, o que, por consequência, aumentam, estabilizam ou reduzem tanto no curto quanto no médio prazo, as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, dependendo, obviamente, do tempo em que venham tais indicadores a perdurar na economia global.

Por conta deste entendimento, iremos em seguida discutir o nível das atividades econômicas na Europa, região onde se localiza atualmente o principal mercado de carbono do mundo.

3.3.1 *Indicadores do nível das atividades econômicas na Europa*

O nível das atividades econômicas na Europa é uma das variáveis que afetam os preços dos certificados de carbono. Maior expansão da economia em determinada região, maiores serão as emissões de GEE nesta região, e vice-versa. Economia estagnada em determinada região, sucinta considerarmos em um primeiro esforço que as emissões mensuradas permanecerão no mesmo nível das que foram medidas anteriormente.

A economia europeia, ao tempo de elaboração deste texto, encontrava-se em franca recessão, com diversos países que integram a chamada “Zona do Euro” enfrentando crise econômica, com inúmeros desempregados e com dificuldades de realizar o pagamento das suas dívidas públicas no curto e no médio prazo, com bancos de grande porte enfrentando dificuldades em face do grande volume de saques por parte de seus clientes.

Se para a economia europeia os números vão de mal a pior, o meio ambiente agradece, uma vez que menores índices de emissões de GEE serão registrados, possibilitando às inúmeras empresas carbono-intensivas cumprirem as suas metas de emissão traçadas pelos respectivos órgãos reguladores no escopo traçado pelo sistema *cap-and-trade*.

No entanto, naquilo que diz respeito à modelagem dos preços dos certificados de carbono - a recessão europeia registrada atualmente representa um resultado frustrante para os investidores do mercado de carbono, uma vez que existe uma imensa oferta de certificados, e, ao mesmo tempo, um enorme declínio na procura por tais créditos, uma vez que atingindo suas metas de emissão, as empresas regidas pelas regras da EU ETS não têm porque comprar no mercado créditos de carbono para cobrirem eventuais emissões além do limite estabelecido para elas pelo sistema em vigor. Desta forma, os preços baixíssimos que vêm sendo registrados nos últimos tempos nas bolsas especializadas.

A presente recessão na Europa vem produzindo bens e serviços em menor intensidade, e, portanto, menores emissões de GEE. Por conseguinte, as empresas carbono-intensivas europeias, mesmo que obrigadas pela situação recessiva não irão adquirir de terceiros certificados de carbono para cumprirem suas metas. Esta queda de demanda provoca a redução do preço do carbono, sendo a recíproca de toda a situação, verdadeira, ou seja, sendo retomado o ritmo da economia europeia, na forma costumeira (*business as usual*), o preço da *commodity* tenderá a subir.

Para que se tenha uma visão integrada de todo o processo sistêmico que envolve a precificação do carbono, será mostrado na tabela que se segue o nível integrado das atividades econômicas dos vinte e sete países que integram a Zona do Euro (Euro-27), a contar de março de 2005, tendo como base o ano 2005.

Tabela 16 - Indicadores da atividade econômica – Euro-27

Mês	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	-	105,10	109,70	113,10	93,61	94,51	102,40	102,30
Fev	100,00	105,60	110,30	113,50	91,55	94,19	104,10	
Mar	102,10	106,00	111,00	113,00	89,84	95,98	103,50	
Abr	103,00	105,70	110,00	113,30	89,95	96,41	103,50	
Mai	102,70	107,60	111,10	111,80	90,02	97,56	100,00	
Jun	103,10	107,50	111,00	111,60	89,75	97,69	101,90	
Jul	103,30	107,30	113,30	112,20	91,07	97,63	103,30	
Ago	104,10	109,20	112,30	112,20	91,72	98,68	105,50	
Set	103,90	108,60	113,00	112,00	92,33	97,97	102,60	
Out	103,10	108,80	113,00	112,60	92,02	100,40	102,60	
Nov	104,80	109,00	112,50	98,86	93,40	100,80	102,60	
Dez	105,00	110,40	112,40	96,40	92,52	101,40	102,20	
Média	103,51	107,57	111,63	110,05	91,48	97,77	102,85	

Fonte: CARBONE (2012).

O gráfico resultante dos números acima sistematizados, é apresentado na Figura 16.



Figura 16 - Indicadores da atividade econômica – Euro-27.
Fonte: CARBONE (2012).

A Figura 16 mostra o nível das atividades econômicas registrados na Zona do Euro, a partir de fevereiro de 2005. Com crescimento abaixo de 5% em novembro daquele ano, este nível atingiu o seu auge em julho de 2007 (13,3%) permanecendo próximo deste patamar até outubro de 2008, quando logo após esse mês/ano estourou o escândalo das *subprimes* americanas, com o conseqüente pedido de concordata da empresa norte-americana *Lehman Brothers*³², desencadeando uma crise econômica mundial que se prolongava até os dias em que este trabalho se encerrava, afetando as maiores economias do planeta e os preços dos combustíveis fósseis como um todo.

3.4 Efeito dos indicadores de eficiência energética das principais economias do mundo sobre as emissões globais de carbono

A Quinta Comunicação Nacional de Emissões de GEE, enviada para a CQNUMC pelos países listados no Anexo I do Protocolo de Quioto³³, em janeiro de 2011 - divulgada a sua compilação para o público em geral em 20/05/2011 - inclui dados sobre a

³² Vide Nota de Rodapé nº 2.

³³ A compilação das respectivas Comunicações Nacionais estava disponibilizada pela CQNUMC (UNFCCC) em: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/sbi/eng/inf01.pdf>. Acesso em 20/05/2012.

eficiência energética alcançada por cada um desses países no período de 1990 a 2008, as suas emissões *per capita*, assim como, dentre outras, as respectivas emissões de GEE em relação aos seus Produtos Internos Brutos (PIB) do ano base, todas variáveis significativas que têm influência direta e indireta sobre os preços do carbono, uma vez que essas variáveis orientam políticas públicas internas presentes e futuras de cada governo central, que acabam por se refletir nos preços do carbono praticados pelo mercado.

Emissões *per capita*, correspondem, nas duas tabelas que se seguem, às chamadas “*pegadas de carbono*” de cada residente no país analisado, no respectivo ano-base. Em tais tabelas também estão inseridos dados oficiais detalhados sobre as respectivas populações, PIB do período, total da oferta de energia primária, e emissões percentuais em relação ao mesmo PIB - o que aponta o grau de eficiência energética de cada país-membro, dentre outras informações relevantes.

Ao mesmo tempo, a relação “*Emissões de GEE/PIB*”, expõe aos tomadores de decisão, quanto cada Euro gerado por bens e serviços em suas respectivas economias em determinado ano representou em termos de emissões de GEE para a atmosfera.

As Tabelas 17 e 18 apresentam os dados socioambientais das chamadas “Partes do Anexo I”, de Quioto, tendo como anos base 1990 e 2008.

Tabela 17 – Dados socioambientais – Países do Anexo I de Quioto (1990).

País	População (milhões)	PIB (USD de 2000) (Usando PPP)	OEP ³⁴ (Mtoe)	OEP/PIB (toe/1000 USD)	Emissões <i>per capita</i>	Emissões GEE/PIB
Austrália	17,2	370,0	86,2	0,23	24,4	1,1
Estados Unidos	250,2	7.064,0	1.915,0	0,27	24,4	0,9
Federação Russa	148,0	1.523,6	879,2	0,58	22,4	2,2
Canadá	27,7	655,5	208,7	0,32	21,4	0,9
Alemanha	79,4	1.732,2	351,4	0,20	15,8	0,7
Reino Unido	57,2	1.195,4	205,9	0,17	13,5	0,6
EU-27	472,9	8.563,9	1.635,1	0,19	11,8	0,7
Noruega	4,2	112,8	21,0	0,19	11,7	0,4
Japão	123,6	2.870,7	439,3	0,15	10,3	0,4
França	58,2	1.261,9	223,9	0,18	9,7	0,4

Fonte: Extraído de <http://unfccc.int/resource/docs/2011/sbi/eng/inf01.pdf>. Acesso em 20/05/2012.

Tabela 18 – Dados socioambientais – Países do Anexo I de Quioto (2008).

País	População (milhões)	PIB (USD de 2000) (Usando PPP)	OEP (Mtoe)	OEP/PIB (toe/1000 USD)	Emissões <i>per capita</i>	Emissões GEE/PIB
Austrália	21,5	679,0	130,1	0,19	25,5	0,8
Estados Unidos	304,5	11.742,3	2.283,7	0,19	22,7	0,6
Canadá	33,3	1.049,5	267,2	0,25	22,0	0,7
Federação Russa	141,8	1.651,2	686,8	0,42	15,7	1,4
Alemanha	82,1	2.351,8	335,3	0,14	12,0	0,4
Noruega	4,8	193,7	29,7	0,15	11,4	0,3
Reino Unido	61,4	1.842,3	208,5	0,11	10,3	0,3
Japão	127,7	3.597,6	495,8	0,14	10,0	0,4
EU-27	498,7	12.543,0	1.750,7	0,14	9,9	0,4
França	64,1	1.751,0	266,5	0,15	8,3	0,3

Fonte: Extraído de <http://unfccc.int/resource/docs/2011/sbi/eng/inf01.pdf>. Acesso em 20/05/2012.

Comparando-se as duas tabelas precedentes, podemos concluir que a Alemanha, por exemplo, teve um crescimento populacional, em dezoito anos, de 3,5%, ao passo que seu PIB cresceu dez vezes mais (35,8%), mesmo com uma redução em sua oferta de energia primária de 4,6%. Ao mesmo tempo, a relação desta oferta de energia primária com o PIB alemão, caiu, no mesmo período, 29,7%. Suas emissões de GEE *per capita*, ou seja, a *pegada de carbono* alemã foi reduzida em 24% em relação ao registrado em 1990, o que enseja menores emissões de GEE no período, com uma produção e consumo mais sustentável.

³⁴ OEP = Oferta de Energia Primária.

Analisando-se os dados dos Estados Unidos³⁵, se verifica que em dezoito anos o PIB americano cresceu 66,2%, assim como que a sua oferta de energia primária seguiu no mesmo sentido, crescendo 19,3% no mesmo período, e que a relação desta mesma oferta de energia primária em relação ao PIB ianque caiu 28,3%.

Também podemos concluir comparando-se as duas tabelas anteriores que a *pegada de carbono* americana, entre 1990 e 2008 caiu 6,9%, e que as emissões de GEE em relação ao PIB, foram reduzidas em 31,8% em toneladas de carbono equivalente (tCO_{2e}). Poderíamos continuar fazendo o mesmo tipo de análise para todos os países listados nas duas tabelas precedentes, todavia vamos nos concentrar na chamada EU-27³⁶, cujos créditos de carbono principais do maior mercado regulado (EUAs, CERs e ERUs) são negociados.

Em conjunto, os vinte e sete países nos dezoito anos em destaque, tiveram um crescimento populacional de 5,5%, ao passo que o crescimento do PIB alcançou 46,5%. A oferta de energia primária cresceu 7,1%, embora a relação desta oferta com o PIB tenha caído 26,3%, e a *pegada de carbono*, conjunta, também tenha caído, todavia em um percentual menor (15,9%). Por fim, as emissões de GEE na formação do PIB conjunto alcançaram uma redução de 39,4%, refletindo o início da crise econômica em 2008 na Europa, e que de todos os países listados, o Japão foi o único dentre eles que manteve a relação Emissões de GEE/PIB constante, ao passo que todos os demais reduziram esta mesma relação na comparação 1990 – 2008, ou seja, exceto o Japão, tanto os 27 países europeus em conjunto, quanto os demais, melhoraram seus níveis de eficiência energética.

No próximo capítulo serão discutidos os fundamentos e métodos utilizados para a realização deste trabalho.

³⁵ Embora não tenha ratificado o Protocolo de Quioto, os EUA cumprem o calendário estabelecido pela CQNUMC, enviando nos prazos acordados a sua Comunicação Nacional de Emissões de GEE.

³⁶ Grupo de vinte e sete países da Europa que integram o que se chama de “Zona do Euro”, ou seja, todos os países que utilizam o Euro (€) como moeda oficial.

CAPÍTULO 4

4. FUNDAMENTOS & MÉTODOS EMPREGADOS

4.1 *Holismo*

O termo “*holismo*” (originário da palavra grega *holos*, que em tradução livre se pode entender como sendo um inteiro ou um todo) pressupõe a ideia de que as propriedades de um sistema, quer se trate de seres humanos, de outros organismos, ou de um conjunto de variáveis, não podem ser explicadas apenas pela soma dos seus componentes. Conforme se pode depreender desta breve explicação, o próprio sistema, como um todo, determina como se comportam as suas partes componentes.

SMUTS (1926) foi o primeiro a utilizar o termo “*holismo*” e a fazer a conexão do pensamento humano ao longo do tempo com inúmeros trabalhos e teses que se destacaram na história da humanidade, como a Teoria da Evolução de Charles Darwin, os trabalhos mais antigos de Nicolau Copérnico, assim como com a Teoria da Relatividade de Einstein, todas já com o destaque acadêmico em sua época.

Para este último autor, nós, humanos, deveríamos ter uma visão-de-mundo, como se ele fosse um todo, integrado, como se ele fosse, um só organismo:

“a tendência da Natureza, através de uma evolução criativa, é a de formar qualquer "todo" como sendo maior do que a soma de suas partes”.

LOVELOCK (2006), por sua vez, embora muito mais recentemente, expressou suas idéias de forma semelhante, considerando o planeta Terra como um organismo vivo, único, e que os problemas ambientais globais que hoje a humanidade se defronta, a seu ver, nada mais seriam do que uma “vingança” (uma reação) do planeta, por todas as ações antrópicas, maléficas, praticadas contra ele ao longo do tempo.

Assim, de uma forma ou de outra, o princípio do holismo, embora não com este sentido ambiental, foi discutido por diversos pensadores ao longo da História. O primeiro filósofo que o instituiu para a ciência foi o francês Augusto Comte (1798-1857) ao sobrepor a importância do espírito de conjunto (ou de síntese), sobre o espírito de detalhes (ou de análise), para uma compreensão adequada da ciência em si, e de seu valor para o conjunto da existência humana.

Entretanto, já em nosso tempo, CHRISTAKIS (2011) afirmava:

"nos últimos séculos o projeto cartesiano na ciência tem sido insuficiente ou redutor ao pretender romper a matéria em pedaços cada vez menores, na busca de entendimento. E isso pode funcionar, até certo ponto, mas também recolocar as coisas em conjunto, a fim de entendê-las melhor, devido à dificuldade ou complexidade de uma questão ou problema em particular, normalmente, vem sempre mais tarde no desenvolvimento da pesquisa, da abordagem de um cientista, ou no desenvolvimento da ciência".

4.2 Conceito de Sistema

O conceito de sistemas foi pela primeira vez, como hoje corriqueiramente é aceito, introduzido por Chorley (1962), e vários aspectos dessa abordagem foram considerados em seguida também por Christofolletti (1979), Strahler (1980), Hugget (1985) e Scheidegger (1991).

Chorley e Kennedy (1971) salientaram o aspecto conectivo do conjunto, formando uma unidade, ensinando:

“Um sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”.

Mais recentemente, ao fazer uma breve revisão sobre a teoria de sistemas, Haigh (1985) assinalou:

“Um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas interrelações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontram implicadas por aquelas partes componentes, quando desagregadas”.

Quando se conceituam os fenômenos como sistemas, uma das principais atribuições e dificuldades está em se identificar os elementos, seus atributos (variáveis) e suas relações, a fim de se delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco. Praticamente, os sistemas envolvidos na análise ambiental funcionam dentro de um ambiente, fazendo parte de um conjunto maior. Este conjunto maior, no qual se encontra inserido o sistema particular que se está estudando, pode ser denominado de *universo*, o qual compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos que, através de suas mudanças e dinamismo, apresentam influências condicionadoras no sistema focalizado, e também de todos os fenômenos e eventos que sofrem alterações e mudanças por conta do comportamento do referido sistema particular.

No âmbito do universo, a fim de estabelecer uma ordem classificatória, Christofletti (1999), afirma que podemos considerar os primeiros sistemas de “*sistemas antecedentes ou controlantes*”, e os segundos, de “*sistemas subsequentes ou controlados*”. Entretanto, não se deve pensar que exista apenas um encadeamento linear, sequencial, entre os sistemas antecedentes, o sistema que se está estudando, e os sistemas subsequentes. Através do *mecanismo de retroalimentação (feedback)*, os sistemas subsequentes podem voltar a exercer influências sobre os antecedentes, numa perfeita interação entre todo o universo.

Por outro lado, de acordo com Flood & Carlson (1998), citados por Fernandes (2003), o desenvolvimento das ciências dos sistemas ocorreu através do desenvolvimento de quatro ciclos, como ilustrado pela figura que se segue:

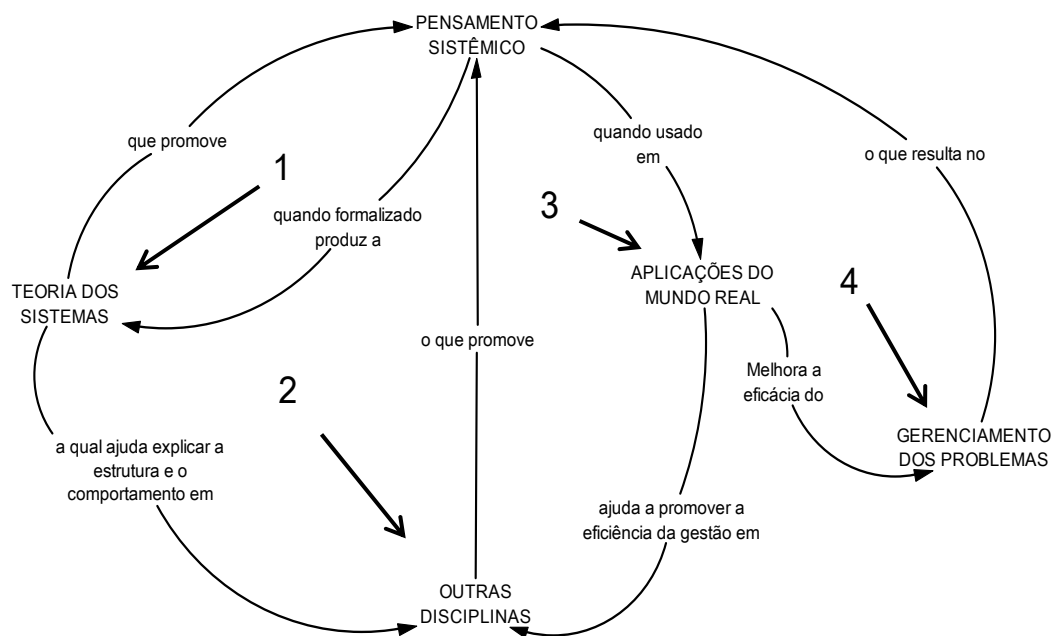


Figura 17 – Quatro ciclos do pensamento sistêmico.
Fonte: Flood & Carlson (1988), adaptado por Fernandes (2003).

Segundo o mesmo Fernandes (2003), esses quatro ciclos mostrados da Figura 9, podem assim serem explicados:

Ciclo 1 - O pensamento sistêmico quando formalizado resulta na Teoria de Sistemas, que por sua vez promoverá o Pensamento Sistêmico. O Pensamento Sistêmico é uma forma holística de pensar, que contribui para a compreensão de sistemas complexos. Sua formalização é o que se convencionou chamar de Teoria Geral dos Sistemas.

Ciclo 2 - O pensamento sistêmico quando formalizado leva à Teoria dos Sistemas, que por sua vez contribui para elucidar a estrutura e o comportamento em outras disciplinas, o que por sua vez promove o pensamento sistêmico. Durante a fase inicial da Teoria Geral de Sistemas, os Ciclos 1 e 2 foram as únicas ações que efetivamente aconteceram.

Ciclo 3 – O pensamento sistêmico, quando usado em aplicações no mundo real, ajuda a promover a eficiência da gestão de outras disciplinas, o que por sua vez promove o pensamento sistêmico. Aplicações práticas e teóricas da ciência dos sistemas podem ser encontradas em muitas e diferentes áreas da medicina à economia.

Ciclo 4 – O pensamento sistêmico, quando usado em aplicações no mundo real, contribui para a eficiência da administração dos problemas, o que por sua vez promove o pensamento sistêmico. A contribuição na solução de problemas do mundo real quer como suporte para a tomada de decisão ou para a compreensão de um problema, tem se mostrado extremamente importante para o desenvolvimento das abordagens sistêmicas. No contexto da administração, tal fenômeno já é conhecido desde a década de 1960, e de lá para cá muitas abordagens surgiram.

Pode-se, enfim, concluir, que uma visão sistêmica consiste na habilidade em se compreender os sistemas de acordo com a abordagem da Teoria Geral dos Sistemas, ou seja, ter o conhecimento do todo, de modo a permitir a análise ou a interferência no mesmo, ou seja, a visão sistêmica é formada a partir do conhecimento do conceito e das características dos sistemas, sendo, portanto, a capacidade de identificar as ligações de fatos particulares do sistema como um todo.

4.3. Conceito de Modelo

Um modelo é uma idealização simplificada de um sistema que possui maior complexidade, mas que ainda assim supostamente reproduz na sua essência o comportamento do sistema complexo que é o alvo de estudo e entendimento.

Dentro desta linha de raciocínio, um modelo também pode ser definido como o resultado de um processo para produzir uma representação abstrata, conceitual, gráfica ou visual de fenômenos, sistemas ou de processos com o propósito de analisar, descrever, explicar, simular - em geral, explorar, controlar e prever estes fenômenos ou processos. Considera-se que a criação de um modelo é uma parte essencial de qualquer atividade científica.

Haggett e Chorley (1975) definiram “modelo” como sendo:

“uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade”.

4.4 Conceito de Modelagem

De acordo com Christofolletti (1999), a modelagem constitui procedimento teórico envolvendo um conjunto de técnicas com a finalidade de compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, como atividade de reação do homem perante a complexidade aparente do ambiente que o envolve. É procedimento teórico, pois consiste em compor uma abstração da realidade, em função das concepções do mundo, trabalhando no campo da abordagem teórica e ajustando-se e/ou orientando as experiências empíricas.

A componente técnica reveste-se da formalização perante os objetivos especificados, conforme as regras aplicadas em sua estruturação e absorvendo as categorias de informações disponíveis. Segundo o mesmo autor (*op. cit.*), nessa abrangência, a modelagem ambiental possui a função de representar os fenômenos da natureza e a de estabelecer delineamentos para a elaboração de novas hipóteses no contexto das teorias ou leis físicas, favorecendo com que os enunciados sejam formulados de modo adequado para testes visando a sua ratificação ou refutação. Sob este aspecto, os modelos surgem como sendo configuração de hipóteses e enunciados, como procedimento que se integra na metodologia científica

fornecendo roupagem para as explicações preliminares ou ratificadas. Por fim, os modelos podem assumir a formulação qualitativa ou quantitativa, expressa em termos lógicos ou matemáticos, e referem-se aos objetivos descritivos ou declarativos. A significância envolve-se também para com o diagnóstico e com a previsão, sendo básica aos procedimentos de simulação.

4.5 Conceito de Sustentabilidade

Sustentabilidade é a habilidade de sustentar ou suportar uma ou mais condições, exibida por algo ou alguém. É uma característica ou condição de um processo ou de um sistema que permite a sua permanência, em certo nível, por um determinado prazo.

Nos últimos tempos este conceito tornou-se um princípio, segundo o qual o uso dos recursos naturais para a satisfação de necessidades presentes não pode comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras. Sustentabilidade também pode ser definida como a capacidade do ser humano interagir com o mundo, preservando o meio ambiente para não comprometer os recursos naturais para as gerações futuras.

De acordo com Rodrigues (2009), o conceito de sustentabilidade é complexo, pois atende a um conjunto de variáveis interdependentes, mas podemos dizer que deve ter a capacidade de integrar as questões sociais, energéticas, econômicas e ambientais.

Desse modo, sem considerar a questão social envolvida em um problema, não há como se falar sustentabilidade. Em primeiro lugar é preciso respeitar o ser humano, para que este possa respeitar a natureza. E do ponto de vista do ser humano, ele próprio é a parte mais importante do meio ambiente.

Por outro lado, não há sustentabilidade sem se considerar a questão energética. Sem energia a economia não se desenvolve, e sem desenvolvimento, as condições da população se deterioram rapidamente.

E ainda mais, sem se considerar em qualquer problema complexo, a questão ambiental, nunca se atingirá a sustentabilidade em sua plenitude, além da provável solução do problema complexo, ser equivocada. Com o meio ambiente degradado, o ser humano abrevia o seu tempo de vida, a economia não se desenvolve e o futuro fica insustentável, haja vista as

previsões pessimistas que IPCC (2007) e Stern (2007) vêm fazendo em seus relatórios, se a sociedade em geral não aprender a conviver sob o manto de uma economia de baixo carbono, de produção mais limpa, e atuando como consumidores conscientes.

De acordo com Rodrigues (*op. cit.*) o princípio da sustentabilidade aplica-se desde a um único empreendimento, a uma pequena comunidade, e até mesmo ao planeta inteiro. Para que qualquer atividade humana seja considerada sustentável, é preciso que ela seja ecologicamente correta, economicamente viável, socialmente justa, e culturalmente diversa.

4.6 Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas (DS) é uma metodologia de modelagem desenvolvida por Jay Forrester, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) na década de 1950. Seu principal objetivo é possibilitar a compreensão e discussão do comportamento de sistemas complexos, os quais estão em constante transformação.

Pode-se utilizar a Dinâmica de Sistemas apenas em sua abordagem qualitativa, com a intenção de gerar debates sobre a realidade e aumentar o conhecimento a respeito do sistema estudado. A abordagem quantitativa, através do uso de simulação, busca solucionar problemas específicos de forma quantitativa, oferecendo soluções e otimizações através de modelos que respondem aos estímulos como nos sistemas reais. Dessa forma, a DS proporciona uma visão que vai além dos eventos isolados, permitindo a observação de padrões de comportamento ao longo do tempo.

Tanto a abordagem quantitativa quanto a qualitativa procuram apresentar as relações entre as partes do sistema, mostrando que as mudanças que este sofre são frequentemente consequência de sua própria estrutura.

A compreensão dos padrões de comportamento do sistema como um todo se origina da análise de interrelações entre suas diversas partes, oferecendo uma mudança de perspectiva, ao mostrar de que maneira a própria estrutura do sistema ocasiona seus sucessos e falhas. A estrutura passa a ser representada como uma série de relacionamentos causais, onde as decisões tomadas sempre têm consequências, nem todas elas intencionais. Algumas delas podem ser imediatamente percebidas; outras só virão à tona após algum tempo, até

mesmo anos. O uso da simulação permite que se testem essas decisões, avaliando seu impacto imediato e no médio e longo prazo.

Ao conjunto de relações de causa e efeito entre as variáveis de um sistema dá-se o nome de Diagrama de Enlaces Causais. Essa representação faz da metodologia uma boa maneira de comunicar não apenas o que pode acontecer, mas, também, o porquê do acontecimento.

4.6.1 Abordagem Soft da Dinâmica de Sistemas

Os efeitos diretos de uma variável componente de um sistema sobre as outras podem ser de fácil compreensão quando analisados isoladamente, mas tornam-se complexos quando combinados em grandes cadeias. A abordagem *soft* em Dinâmica de Sistemas tem como base a criação de *Diagramas de Enlaces Causais* para ilustrar essas cadeias. Esses diagramas apresentam todas as variáveis consideradas no modelo e contêm conectores para a representação dos relacionamentos entre elas. Também incluem algumas informações a respeito de como funcionam esses relacionamentos.

Os símbolos mais comumente utilizados são os sinais de “+” e de “-”. O sinal de “+” indica uma “alteração no mesmo sentido”. Por exemplo, quando dizemos que um aumento no número de nascimentos provoca um aumento no tamanho da população. Outra forma de expressar esse relacionamento é dizer: o número de nascimentos “afeta positivamente” o tamanho da população. O sinal de “-” indica “alteração em sentido contrário”. Assim, relacionamento entre preço e número de vendas poderia ser representado dessa forma, pois de maneira geral um aumento no preço provoca uma redução no número de vendas. Diz-se que o preço, “afeta negativamente” o número de vendas.

Na Figura 18 se pode observar um Diagrama de Enlaces Causais (DEC) simples, representando um relacionamento em que a utilização de bens pelos consumidores de óleo, afeta positivamente a demanda de óleo, que afeta também, positivamente, o preço do óleo. Este, por sua vez, tem um efeito negativo sobre a utilização de bens consumidores de óleo.

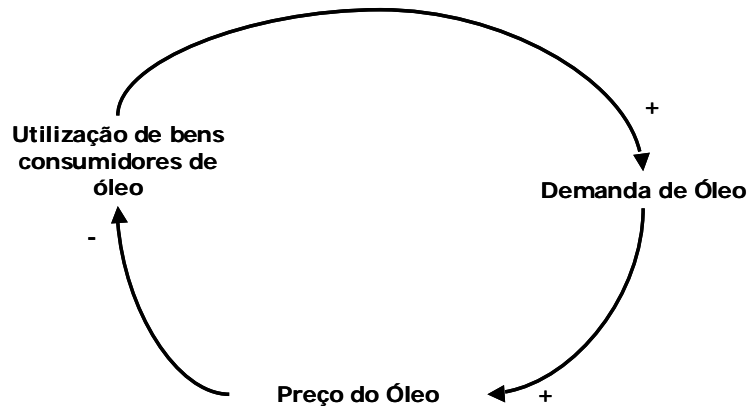


Figura 18 - Diagrama de enlaces causais simples
Fonte: Autor

Os diagramas de enlace causal cumprem dois papéis importantes ao comunicar os pressupostos estruturais do modelo. O primeiro deles é servir como um esboço de suas hipóteses causais, e o segundo é simplificar sua ilustração, possibilitando maior conhecimento a respeito do sistema e fornecendo espaço para debates com relação ao seu funcionamento.

4.6.1.1 Enlaces (feedbacks ou loops)

O conceito de *feedback* explicita que alguns enlaces causais estão interligados de maneira que causa e efeito se alimentam mutuamente. Isso ocorre em todos os tipos de sistemas do mundo real, apesar de muitas vezes não ficar explícito. Assim, a perturbação em um elemento tem o potencial de ocasionar uma variação nele próprio como resposta.

O diagrama apresentado na Figura 18 ilustra o *feedback* existente no exemplo de preço e consumo de óleo. Um aumento no preço do óleo provoca a redução da utilização de bens consumidores de óleo, reduzindo assim a demanda de óleo, o que por sua vez implicará numa redução do preço do óleo, aumentando novamente a utilização dos bens consumidores de óleo. Denomina-se esse tipo de enlace como *loop de equilíbrio* ou *negativo*, pois há uma tendência à inibição ou controle do efeito inicial. No caso, uma ação na variável produz efeito contrário sobre ela mesma no fim de um ciclo. *Loops de reforço* ou *positivos* são aqueles em uma ação na variável produzirá uma nova variação no mesmo sentido no fim do ciclo.

Os enlaces também devem ser explicitados nos diagramas, como sugerido na Figura 19. No caso, a letra “E” simboliza que esse é um *loop* de equilíbrio. Poderia ser usado também um símbolo “-”. Caso se tratasse de um *loop* de reforço, deveria ser simbolizado pela letra “R” ou pelo sinal “+”.

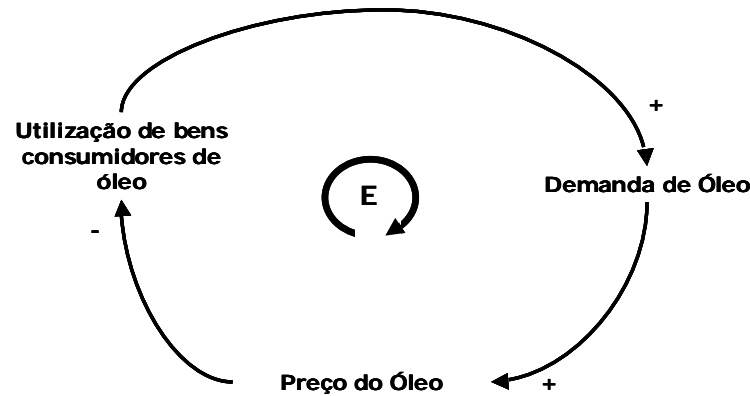


Figura 19 - Representação de um *feedback* de equilíbrio
Fonte: Autor

Os relacionamentos de *feedback* podem produzir uma gama de comportamentos nos sistemas reais, assim como na simulação desses sistemas. A Figura 20 ilustra quatro comportamentos comuns criados por diferentes combinações de *feedback*.

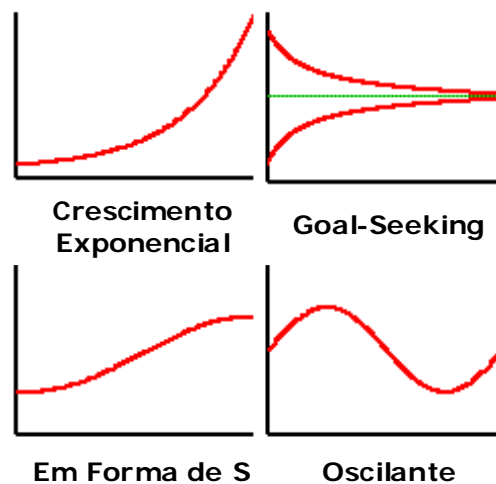


Figura 20 - Quatro comportamentos comuns criados por diferentes laços de *feedback*
Fonte: PowerSim (2003), adaptado.

Uma vez finalizada a discussão sobre a Dinâmica de Sistemas e de sua abordagem *soft*, no próximo capítulo iniciaremos a modelagem da dinâmica de preços do carbono, não sem antes discutir naquele capítulo três componentes intangíveis do sistema de preços, dos vinte e seis que integrarão o modelo final. São esses componentes de considerável efeito sobre os preços futuros do carbono, militando dentro das fronteiras do sistema a modelar.

CAPÍTULO 5

5. MODELAGEM DA DINÂMICA DE PREÇOS DO CARBONO

Fruto de uma pesquisa extensa sobre fatores que influenciam os preços do carbono no mercado internacional e o comportamento temporal das mesmas (*time path*), foram identificadas, inicialmente, mais de 40 variáveis. No entanto, a metodologia da modelagem soft da DS, nos orienta no sentido de que o sistema como um todo deve ser simplificado para que mesmo em condições mínimas suas partes componentes possam representar a realidade que se pretende estudar. Assim, com base no trabalho de Rodrigues (2009), as variáveis do sistema que possuíam relações diretas com os quatro pilares de sustentabilidade por ele defendido foram em uma segunda etapa posteriormente reduzidas para vinte e seis.

Ainda não de ser considerados e discutidos antes da construção propriamente dita do modelo, três componentes intangíveis, mas de considerável importância para os preços do carbono, e que militam dentro das fronteiras do sistema a modelar: (i) o nível das atividades econômicas na Europa; (ii) a pegada de carbono dos maiores *players* deste mercado; e (iii) o grau de eficiência energética atingido por esses mesmos *players*.

A Figura 22 da página 93 constitui o Diagrama de Enlace Causal (DEC) do sistema em análise.

5.1 Componentes do modelo de precificação

Ellerman *et al.* (2010) como forma de sistematizar os diversos estudos existentes sobre modelagem dos preços do carbono, afirmaram existir, a priori, diversas questões importantes envolvendo acima de tudo a sustentabilidade do planeta que não podem deixar de ser levadas em consideração para que os objetivos da modelagem pretendida sejam atingidos.

Reiteraram em seus estudos que todas as questões atinentes à sustentabilidade³⁷ devem obrigatoriamente ser incluídas em um modelo de precificação do carbono – pelo simples fato de que, todo e qualquer modelo deve representar uma abstração da realidade – podendo enfim, as questões relacionadas à sustentabilidade (suas variáveis) relacionadas ao preço do carbono serem expandidas ou mesmo agrupadas, dependendo do

³⁷ Questões ambientais, energéticas, econômicas e sociais.

grau de complexidade ou de profundidade que seu autor pretenda alcançar, assim como nas respostas que o próprio modelo poderá produzir quando finalizado.

Também a falta de dados disponíveis poderia ser uma das razões que por vezes limita a atuação do autor de um modelo semelhante e a amplitude que ele próprio deseja alcançar. Escassez de recursos humanos e financeiros voltados para pesquisas, seria mais uma barreira dentre os diversos entraves limitantes.

Finalmente, a Figura 21 sintetiza as questões que, no entender de Ellerman *et al.* (*op. cit.*), teriam efeito teórico, direto, sobre os preços do carbono.

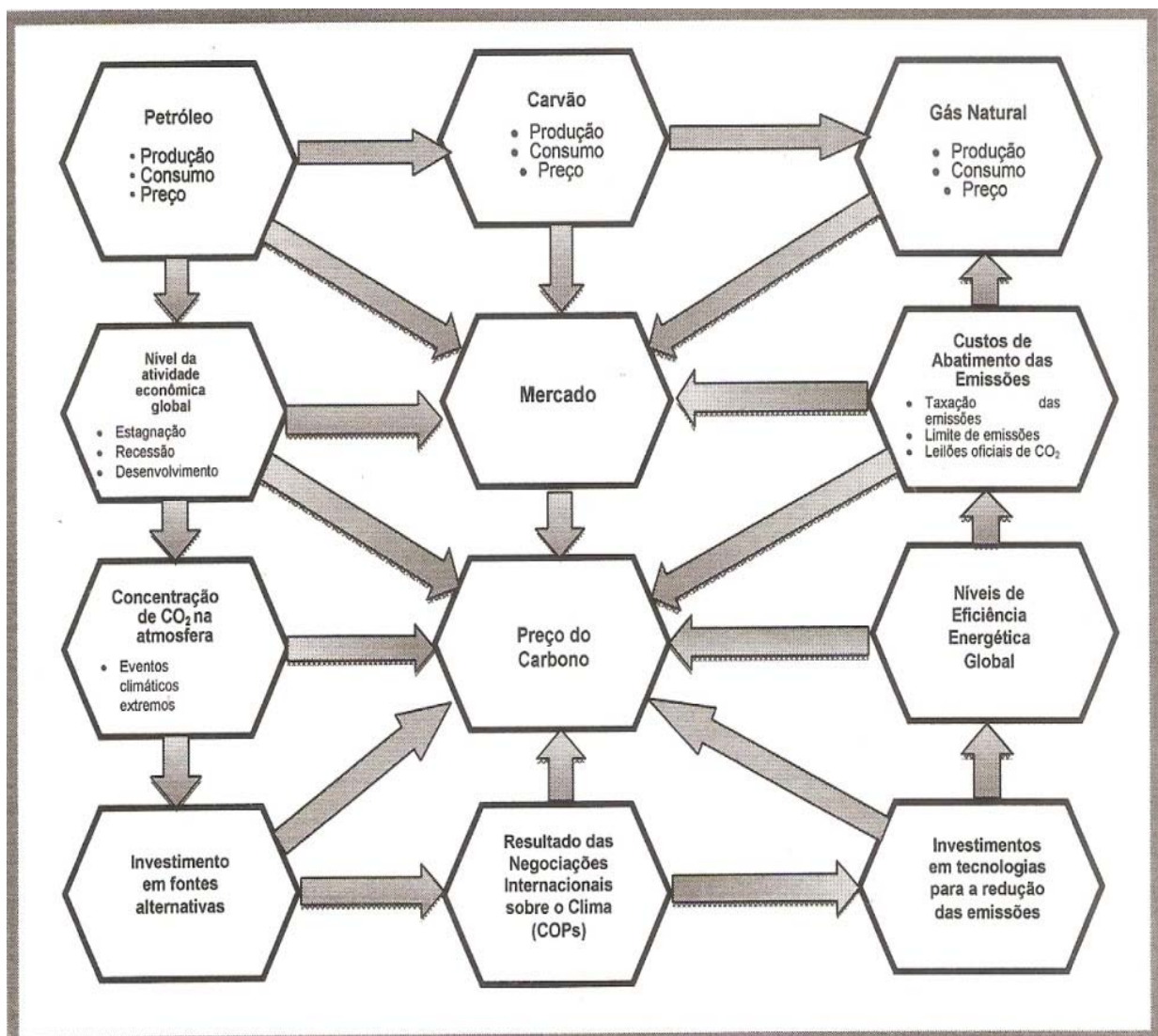


Figura 21: Componentes diretos, teóricos, sobre o preço do carbono

Fonte: ELLERMAN *et al.* (2010).

Desta forma, com base nos elementos da Figura 21, e também no que é defendido por Rodrigues (2009), foi possível identificar as 26 (vinte e seis) partes componentes do sistema a ser modelado, como relacionado a seguir.

Variáveis identificadas (por ordem alfabética)			
1	CERs emitidas	14	Nível das Reservas
2	Concentração de GEE na atmosfera	15	Ocorrência de eventos climáticos extremos
3	Custo de abatimento das emissões	16	Preço do petróleo, carvão e gás natural.
4	Custos de extração	17	Pressão da sociedade para redução das emissões
5	Demanda das empresas por créditos de carbono	18	Previsões pessimistas do IPCC
6	Demanda por energia fóssil	19	Produção + Limpa
7	Emissões totais	20	Produção de energia fóssil
8	ERUs emitidas	21	Produção de energia renovável
9	EUAs concedidas	22	Produção e Consumo conscientes
10	Investimentos em eficiência energética	23	Prorrogação de Quioto até 2020.
11	Investimentos em energia renovável	24	Restrições impostas pela EU ETS
12	Leilões de certificados	25	Taxa de descoberta de novas reservas
13	Nível das Atividades Econômicas	26	Taxação das emissões

Quadro 1 – Variáveis componentes do modelo
Fonte: Autor.

Todos esses componentes, considerados em conjunto, formam o ambiente necessário para a modelagem de um sistema que demonstre o que realmente ocorre com os preços do carbono no mercado internacional. Exemplos da efetiva participação direta e indireta dos elementos anteriormente relacionados aos preços do carbono, no mercado internacional, não faltam, embora muitos, desconectados, de acordo com o material pesquisado.

Invernos mais rigorosos na Europa, na China, ou nos Estados Unidos, por exemplo, aumentariam no curto e no médio prazo, a demanda por carvão para aquecimento de ambientes, aumentando assim, as emissões antrópicas anuais de CO₂. O mesmo acontece com a demanda por carvão e por óleo combustível, no caso de longas estiagens na Noruega e/ou em outros países limítrofes, uma vez que suas matrizes energéticas são baseadas, principalmente, em produção hídrica. Uma recessão econômica nos países industrializados, como atualmente ocorre na Europa, diminui, proporcionalmente, o uso do petróleo, do carvão,

e do gás natural utilizados na produção industrial, reduzindo, por consequência direta, as emissões de GEE da região.

Carbone (2012), assim como grande parcela da comunidade científica argumenta que um aumento dos níveis de eficiência energética no mundo todo, produziria o mesmo efeito, ou seja, menores emissões. A descoberta de novas reservas de petróleo, carvão ou de gás natural pelo mundo afora, por outro lado, aumentaria a oferta de combustíveis fósseis, diminuindo as expectativas de esgotamento destes recursos no médio e no longo prazo, o que traria argumentos adicionais para a indústria petrolífera no sentido de que se continue a praticar o modelo BAU ainda por longo tempo, o que seria terrível, quando se pensa na atual concentração de GEE na atmosfera como reportam os meios científicos.

Outra variável que interfere direta e indiretamente nos preços dos certificados de carbono, segundo diversos autores, são os sucessivos insucessos das negociações internacionais sobre as mudanças climáticas, que faz com que o mercado de carbono se retraia, diante das incertezas, tornando os preços da tonelada de carbono extremamente baixos, o que ainda é agravado, na situação atual, pelo excesso de oferta de tais papéis, desestimulando, por conseguinte, que novos investidores participem deste mercado.

Até mesmo a recente prorrogação da vigência do Protocolo de Quioto, decidida na COP-18, em Doha, Qatar, em dezembro de 2012, resultará em futuras concessões de novos certificados de carbono (CERs e ERUs) às empresas com projetos aprovados pela CQNUMC – em um mercado já bastante saturado de certificados – o que aumentará a oferta de créditos, reduzindo ainda mais os preços do carbono no mercado regulado.

Por último, como discutido na Seção 4.6.1, será utilizada para a montagem do modelo, a abordagem *soft* da Dinâmica de Sistemas, contando-se com as variáveis identificadas e relacionadas também no Quadro 2 da página que se segue.

Segundo Rodrigues (2009), essas variáveis podem ser agrupadas por atributos ligados à sustentabilidade, nos quatro pilares geralmente aceitos pela comunidade acadêmica: a) ambiental; b) energético; c) econômico; e d) social. A classificação das variáveis que integrarão o modelo, com base nos critérios deste autor proporcionou o enquadramento realizado a seguir.

Variável	Pilares da sustentabilidade			
	Ambiental	Energético	Econômico	Social
CERs emitidas	X		X	
Concentração de GEE na atmosfera	X			
Custo de abatimento das emissões		X	X	
Custos de extração		X	X	
Demanda das empresas por créditos de carbono			X	
Demanda por energia fóssil		X		
Emissões totais	X			
ERUs emitidas	X		X	
EUAs concedidas	X		X	
Investimentos em eficiência energética		X	X	
Investimentos em energia renovável		X	X	
Leilões de certificados de carbono	X		X	
Nível das Atividades Econômicas	X		X	X
Nível das Reservas		X	X	
Ocorrência de eventos climáticos extremos	X		X	X
Preço do petróleo, carvão e gás natural.		X	X	
Pressão da sociedade para redução das emissões	X	X		X
Previsões pessimistas do IPCC	X			X
Produção Mais Limpa	X	X	X	X
Produção de energia fóssil		X		
Produção de energia renovável		X		
Produção e Consumo conscientes	X	X	X	X
Prorrogação de Quioto até 2020	X			X
Restrições impostas pela EU ETS	X	X	X	
Taxa de descoberta de novas reservas		X		
Taxação das emissões	X		X	X

Quadro 2 – Classificação das variáveis segundo critérios de sustentabilidade

As quatro últimas colunas da direita do quadro acima, foram assinaladas para cada uma das variáveis listadas conforme suas influências e efeitos sobre os quatro pilares da sustentabilidade defendido por Rodrigues (2009). Como pode ser observado, apenas as variáveis “*Produção mais Limpa*” e “*Produção e Consumo Conscientes*”, atenderiam a todos os critérios de sustentabilidade defendidos por aquele autor.

Feitas essas considerações finais, o Diagrama de Enlace Causal (DEC), global, modelado, construído com o apoio da versão acadêmica do software VENSIM PLE, e com as variáveis listada no quadro precedente, é apresentado em seguida, e identificados os 08 (oito) *feedbacks* principais, sendo 04 (quatro) de Reforço (R+), e 04 (quatro) de Equilíbrio (E-), *feedbacks* estes que serão discutidos na Seção 5.2.

5.2 Discussão sobre os oito principais *feedbacks* identificados no modelo

5.2.1 Primeiro *Feedback*:

O primeiro *feedback* identificado como um dos oito principais do modelo, apresenta as relações de causa e efeito do preço do carbono com apenas 02 (duas) variáveis: “Investimentos em energia renováveis” e “Demanda das empresas por créditos de carbono”.

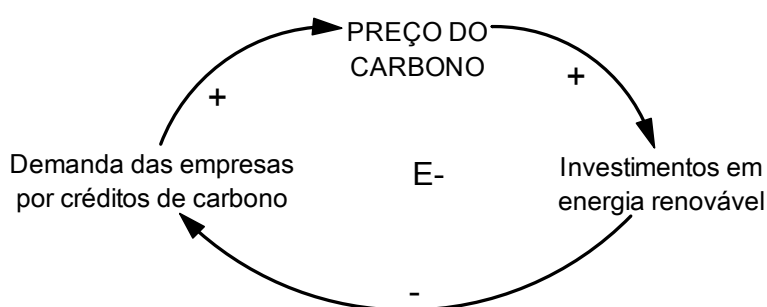


Figura 23 – Primeiro *feedback* do modelo (E-).
Fonte: Autor.

Este *feedback* de equilíbrio (E-) mostra que quanto maior for o preço do carbono no mercado, maiores serão os investimentos em energia renovável, e que sendo registrados maiores investimentos em energia renovável, haverá uma redução na demanda das empresas por créditos de carbono. De modo contrário, se a demanda das empresas por créditos de carbono aumentar, os preços do carbono no mercado irão certamente aumentar. No médio prazo, os investimentos em energia renovável provocarão um aumento da produção de energia renovável, o que implicará em menor produção de energia fóssil, e, por consequência, podemos esperar uma menor pegada de carbono em termos globais. Portanto, maciços investimentos em energia renovável provocarão, pela passagem do tempo, menores emissões totais de GEE para a atmosfera. No longo prazo, estes investimentos em energia renovável tenderão a reduzir os preços do petróleo, do carvão e do gás natural, pela pressão da sociedade para que se reduza o consumo de combustíveis fósseis, em busca da chamada “economia de baixo carbono”, ante as tragédias climáticas que vem sendo previstas pelos cientistas do IPCC desde 1997, em seus relatórios periódicos. Assim sendo, a demanda das empresas por créditos de carbono tenderá a diminuir no longo prazo, ocorrendo o mesmo com os preços desta *commodity*.

5.2.2 Segundo Feedback:

O segundo *feedback* identificado no DEC global, relaciona o preço do carbono com 06 (seis) variáveis distintas: “Investimentos em Energia Renovável”, “Produção de Energia Renovável”, “Produção de Energia Fóssil”, “Nível das Reservas”, “Preços do Petróleo, do Carvão e do Gás Natural”, e “Demanda por Energia Fóssil”.

As relações de causa e efeito do segundo *feedback* importante, são apresentadas em seguida:

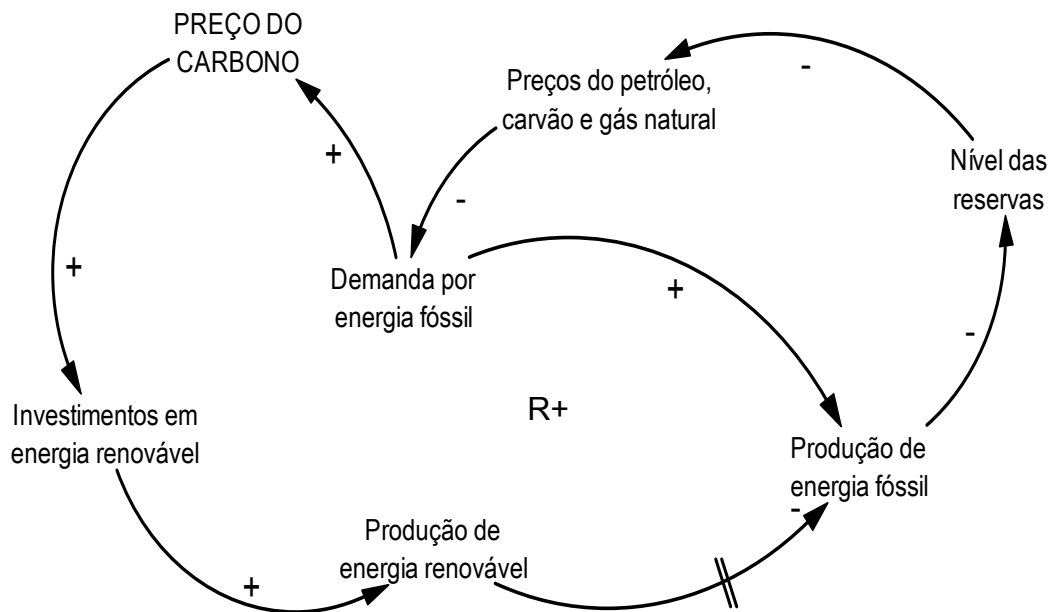


Figura 24 – Segundo *feedback* do modelo (R+).
Fonte: Autor.

Podemos depreender do diagrama precedente, a existência de um *Feedback* de reforço (R+). Uma maior produção com energia fóssil provocará cada vez mais a redução do nível das reservas fósseis, fazendo os preços do petróleo, do carvão e do gás natural se elevar. À medida que esses preços se elevam, eles forçam a redução da demanda por energia fóssil, que por sua vez tende a provocar a queda do preço do carbono. Em lado oposto, a queda do preço do carbono desestimula os investimentos em energia renovável, e também a produção de energia deste tipo, aumentando (ou mesmo mantendo) a necessidade de produção de energia fóssil para atendimento da demanda. No médio prazo, a sociedade tende a pressionar ainda com maior força os tomadores de decisão para que procurem adotar em seus respectivos países, medidas em busca da chamada “*economia de baixo carbono*”, abandonando ao longo do tempo as práticas usuais (carbono-intensivas). Desse modo, a

tendência global, por certo, será a de investimentos maciços em energia renovável, provocando ao longo do tempo menor e necessidade e produção de energia fóssil. Menor produção de energia fóssil manterá por mais tempo o nível das reservas fósseis, diminuindo a pressão por um maior preço dos fósseis, pela escassez da oferta. No longo prazo, a tendência será a de que novas tecnologias renováveis sejam desenvolvidas, diminuindo sobremaneira os preços dos combustíveis fósseis, o que reduzirá drasticamente os preços do carbono, em face do registro contínuo de menor concentração de GEE na atmosfera.

5.2.3 Terceiro Feedback:

O terceiro *feedback* importante do modelo mostra o relacionamento de causa e efeito do preço do carbono com 06 (seis) variáveis: “Investimentos em Energia Renovável”, “Produção de Energia Renovável”, “Produção de Energia Fóssil”, “Emissões Totais”, “Concentração de GEE na Atmosfera” e “Custo de Abatimento das Emissões”, e está representado pela Figura 25.

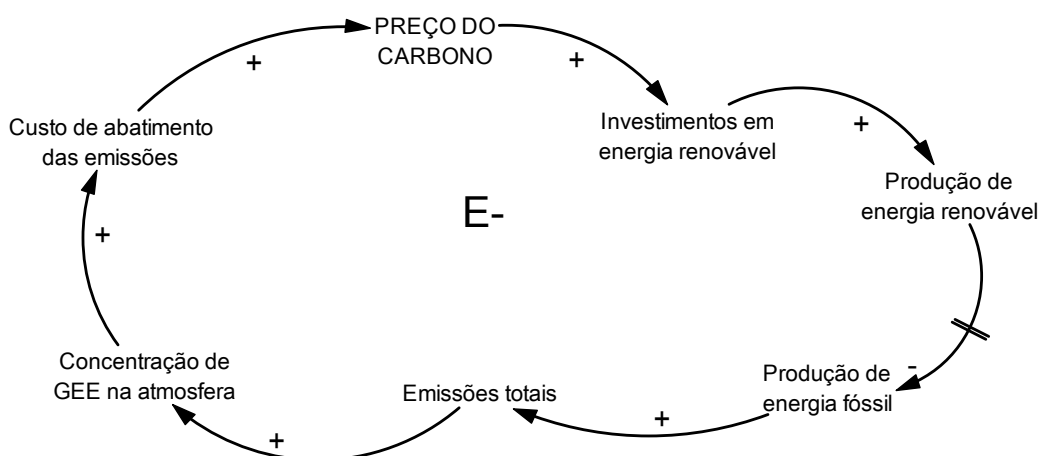


Figura 25 – Terceiro *feedback* do modelo (E-).

Fonte: Autor.

O terceiro *loop* revela a existência de um *feedback* de equilíbrio (E-) entre essas variáveis e o preço do carbono, indicando neste segmento do modelo, em linha gerais, que haverá certa estabilidade nos preços do carbono ao longo do tempo. Quanto maior a concentração de GEE na atmosfera, maior será o custo de abatimento das emissões. Estando o custo de abatimento das emissões elevado, o preço do carbono tenderá também a se elevar, embora em nível menor do que os custos de abatimento, de tal forma que o preço do carbono seja atrativo o suficiente para as empresas que necessitarem cumprir suas obrigações junto aos

órgãos reguladores de emissões de GEE, e venham a ter interesse em adquiri-lo a preço de mercado, na quantidade necessária. Por sua vez, estando os preços do carbono elevados, maiores serão os investimentos em energia renovável, tendendo a ser maior a produção global deste tipo de energia. Sendo aumentada a produção de energia renovável, a consequência, em médio prazo, será uma menor produção de energia fóssil. De modo contrário, uma maior produção de energia fóssil provocará o aumento das emissões totais, aumentando a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. No longo prazo, com a redução de descobertas de novas reservas fósseis, principalmente de petróleo, a tendência é a de que os custos de extração se elevem, sendo reduzida a produção de energia fóssil, e, assim, serão menores as emissões totais. Menores emissões totais reduzirão a concentração de GEE na atmosfera, o que se refletirá em menor preço do carbono no mercado, haja vista que a tendência é não haver aumento dos custos de abatimento, por conta de uma menor concentração dos GEE na atmosfera.

5.2.4 Quarto Feedback:

O quarto *feedback* do modelo indica as relações de causa e efeito do preço do carbono com 06 (seis) variáveis do modelo global: “Investimentos em Energia Renovável”, “Produção de Energia Renovável”, “Produção de Energia Fóssil”, “Emissões Totais”, “Pressão da Sociedade para a redução das emissões”, e “Taxação das Emissões”.

A Figura 26 apresentada em seguida retrata as relações encontradas.

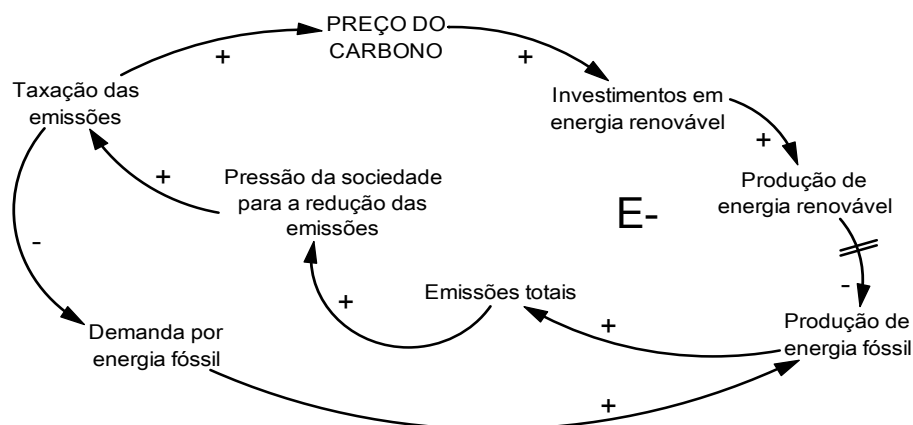


Figura 26 – Quarto *feedback* do modelo (E-).
Fonte: Autor.

Constata-se a formação de um *feedback* de equilíbrio (E-) ao analisarmos a partir da variável emissões totais. Um *feedback* de equilíbrio neste ciclo específico significa que os preços do carbono respeitarão certa estabilidade na medida em que quanto maiores forem as emissões totais, maior será a pressão da sociedade para a redução das emissões, forçando os tomadores de decisão a taxar com maior intensidade as emissões das empresas que excederem os limites de emissão previamente estabelecidos pelo agente regulador no âmbito do sistema *cap-and-trade*, ou taxando emissões pura e simples, no caso de empresas não pertencentes ao mercado regulado. Por sua vez, quanto maior for a taxaço das emissões, maiores serão os preços do carbono no mercado. Este cenário de preços elevados, no médio prazo, forçará um aumento dos investimentos em energia renovável, ampliando a oferta de mais energia renovável em nível global. Um aumento da produção de energia renovável ao longo do tempo tende a reduzir a produção global baseada em energia fóssil. Por sua vez, é notório que uma redução na produção global baseada em energia fóssil ajudará a reduzir o aumento das emissões totais de GEE, eliminando em parte a pressão da sociedade para a redução das emissões, o que reduz as chances para o aumento da taxaço sobre as empresas. Sem um aumento nas taxações os preços do carbono tendem a se estabilizar e perder a força para elevar-se a patamares mais elevados.

5.2.5 Quinto Feedback:

O quinto *feedback* identificado no modelo global diz respeito às relações de causa e efeito do preço do carbono com 07 (sete) variáveis: “*Investimentos em Energia Renovável*”, “*Produção de Energia Renovável*”, “*Produção de Energia Fóssil*”, “*Emissões Totais*”, “*Pressão da Sociedade para a redução das emissões*”, “*Prorrogação de Quioto até 2020*”, e “*Número de CER emitidas*”.

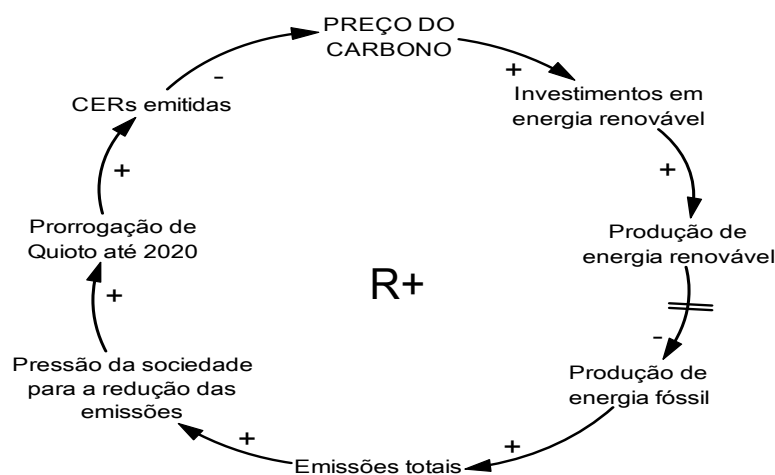


Figura 27 – Quinto *feedback* do modelo (R+).

Fonte: Autor.

As relações de causa e efeito do preço do carbono com as sete variáveis da figura precedente revelam a existência de um *feedback* de reforço (R+). Quanto em maior quantidade forem as emissões de CERs por parte da CQNUMC, maior será a oferta deste tipo de certificado para negociação, forçando a redução do preço do carbono no mercado. Este aumento de preços do carbono promoverá menos investimentos globais em energia renovável em busca de uma relação benefício/custo mais conveniente para os decisores, o que trará como resultado, uma menor produção de energia renovável em detrimento da produção de energia fóssil. Esta última, por sua vez, se não for reduzida aumentará globalmente, aumentará as emissões totais, e, por consequência, a pressão da sociedade para redução das emissões de GEE, provocando pressão ainda maior para que os tomadores de decisão prorroguem o Protocolo de Quioto até 2020. Se o prazo de encerramento dos acordos de Quioto for prorrogado até 2020, como já aconteceu na COP-18, maior quantidade de CERs será emitida até lá pela CQNUMC, provocando uma queda de preços do carbono ainda maior no mercado.

5.2.6 Sexto Feedback:

O sexto *feedback* identificado retrata as relações de causa e efeito do preço do carbono com 07 (sete) variáveis: “Investimentos em Energia Renovável”, “Produção de Energia Renovável”, “Produção de Energia Fóssil”, “Emissões Totais”, “Pressão da Sociedade para a redução das emissões”, “Prorrogação de Quioto até 2020”, e “Número de ERUs emitidas”

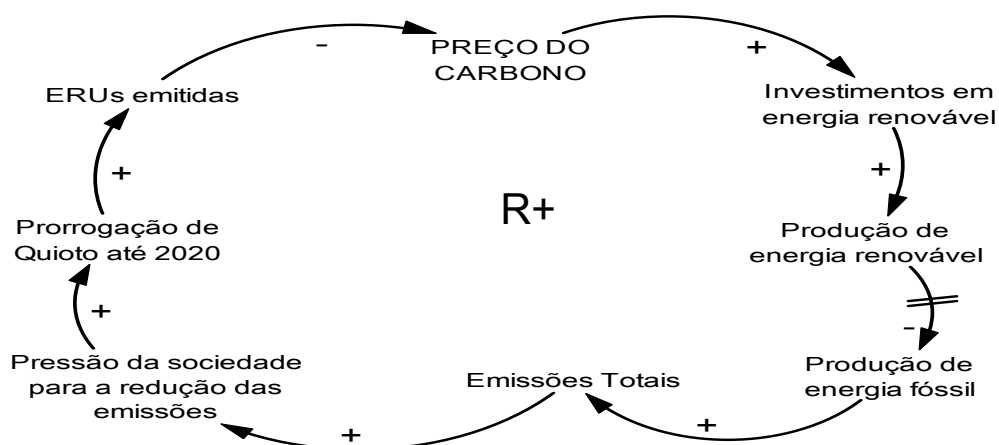


Figura 28 – Sexto *feedback* do modelo (R+).
Fonte: Autor.

Identifica-se neste segmento do modelo global, um *feedback* de reforço (R+). Quanto em maior quantidade forem as emissões de ERUs pela CQNUMC, maior será a oferta deste tipo de certificado no mercado, forçando a redução do preço do carbono em bolsa. Esta redução de preços do carbono promoverá menor quantidade de investimentos globais em energia renovável em busca de uma relação benefício/custo mais conveniente para os investidores, o que causará como resultado, uma menor taxa de produção de energia renovável na economia, mantendo ou aumentando a produção baseada em energia fóssil. Esta última, por sua vez, se aumentar globalmente, aumentará as emissões totais, e por consequência, a pressão da sociedade para redução das emissões de GEE, provocando pressão ainda maior para que os tomadores de decisão prorroguem, por novo acordo, o Protocolo de Quioto até 2020. Se o prazo de para encerramento dos acordos de Quioto for prorrogado até 2020, maior quantidade de ERUs será certamente emitida pela CQNUMC, o que provocará a queda dos preços do carbono no mercado internacional.

5.2.7 Sétimo Feedback:

O sétimo *feedback* importante do modelo global retrata no lado esquerdo do diagrama as relações de causa e efeito do preço do carbono com 05 (cinco) variáveis: “Produção de Energia Fóssil”, “Emissões Totais”, “Pressão da Sociedade para a redução das emissões”, “Demanda por Energia Fóssil” e “Taxação das Emissões”, conforme a Figura 29.

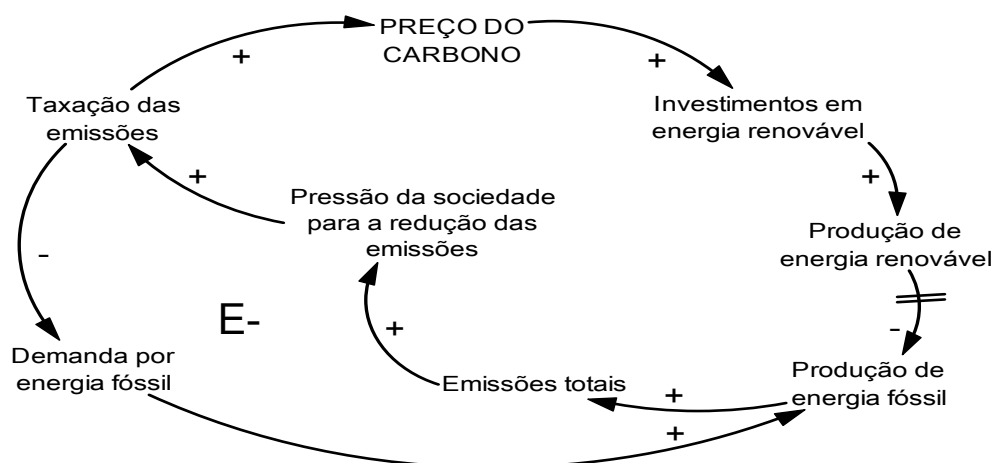


Figura 29 – Sétimo *feedback* do modelo (E -).
Fonte: Autor.

Um *feedback* de equilíbrio (E-) foi identificado no relacionamento entre essas cinco variáveis, proporcionando aos tomadores de decisão e aos investidores em geral algumas interpretações sobre o mundo real: Se a taxa das emissões ao redor do mundo aumentarem a ponto de não mais compensar economicamente o uso crescente de petróleo, carvão, e gás natural, pela sociedade - a demanda por energia fóssil irá diminuir, provocando menor produção baseada em energia fóssil, e, por via de consequência, também nas emissões totais. Menores emissões atenderão em parte aos anseios de toda sociedade, que por conta disto reduzirá as pressões sobre os tomadores de decisão para aumento da taxa das emissões. Menor taxa das emissões tende a manter os preços do carbono estáveis.

5.2.8 Oitavo Feedback:

O oitavo *feedback* deste segmento do modelo retrata o relacionamento de causa e efeito do preço do carbono com 08 (oito) variáveis, conforme a Figura 30: “Investimentos em Energia Renovável”, “Produção de Energia Renovável”, “Produção de Energia Fóssil”, “Emissões Totais”, “Concentração de GEE na Atmosfera”, “Restrições impostas pela EU ETS”, “EUAs concedidas”, e “Leilões de Certificados de Carbono”.

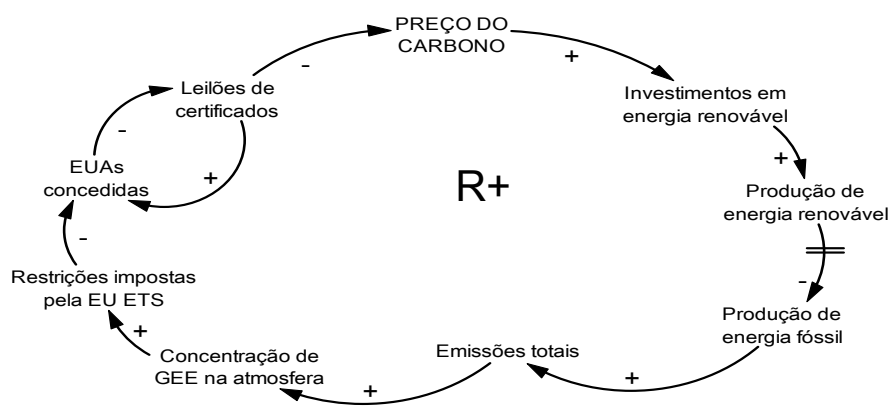


Figura 30 – Oitavo *feedback* do modelo (R+).

Fonte: Autor.

O relacionamento entre as partes componentes deste segmento do modelo pode ser descrito assim: A análise da Figura 30 mostra a presença de mais um *feedback* de reforço (R+). Este *feedback* ocorre uma vez que se a concentração de GEE na atmosfera aumentar, maiores serão as restrições impostas pelos tomadores de decisão da EU ETS no que se refere às empresas que são reguladas pelo sistema europeu. Do mesmo modo, quanto maiores forem às limitações impostas pela EU ETS às empresas por ela reguladas, menor será a quantidade de EUAs concedidas. De forma contrária, se as EUAs forem liberadas em número maior do que o necessário para proporcionar um equilíbrio entre a oferta e a procura, menor será a quantidade de leilões de certificados de carbono realizados. No lado oposto, quanto maior for a quantidade de leilões de carbono, menor será seu preço cotado pelo mercado. Por sua vez, quanto menor o preço do carbono, menores serão os investimentos em energia renovável, provocando menor produção deste tipo de energia, que terá como efeito um maior uso e produção da energia fóssil. Dentro deste contexto, uma maior produção de energia fóssil aumentará as emissões totais medidas periodicamente pelo IPCC, causando,

consequentemente, o aumento da concentração de GEE na atmosfera e os efeitos já anteriormente mencionados nos preços dos créditos de carbono.

5.3 Comentários adicionais

O mercado regulado de carbono, que ainda não completou 10 (dez) anos da sua efetiva implantação, dá mostras de que ainda irá perdurar por um bom tempo, dado que é uma das poucas alternativas que os tomadores de decisão detêm para tentar controlar o ritmo alucinante do crescimento da concentração de GEE na atmosfera, decorrente do uso contumaz de combustíveis fósseis.

O modelo que foi desenvolvido neste trabalho, sem nenhuma pretensão de esgotar o assunto, permite uma ampla gama de discussões e especulações sobre as condições clássicas de desenvolvimento da economia global, assim como o comportamento da sociedade em geral quanto às opções ainda a ela disponíveis: manter o atual *status quo*, consumindo desbragadamente combustíveis fósseis, como se tais combustíveis fossem renováveis, e com isso assumindo os riscos climáticos tão amplamente divulgados nos relatórios do IPCC, ou então, assumindo um comportamento coletivo consciente a partir do qual a humanidade passe a conviver e atuar ativamente, proporcionando a todos uma economia de baixo carbono, atitude esta que pode dar uma novo alento para as gerações futuras no que se refere à viver em um planeta mais limpo e um pouco mais protegido dos efeitos danosos proporcionados pela alta concentração de GEE na atmosfera.

Destacados e discutidos os 08 (oito) principais *feedbacks* identificados nas fronteiras do modelo de enlace causal global, apresentado na página 96, no próximo capítulo serão discutidos cenários futuros, onde, dependendo do comportamento da sociedade no médio e no longo prazo, assim como do estágio de desenvolvimento da economia dentro desses prazos, o que poderá acontecer com os preços do carbono.

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISE DE CENÁRIOS FUTUROS

Vencida a construção do modelo global, assim como a identificação e discussão das causas e efeitos apontados nos seus oito principais *feedbacks*, podemos enfim traçar cenários futuros e analisar as consequências que tais cenários podem provocar sobre os preços do carbono no mercado internacional tanto no médio quanto no longo prazo, entendendo-se médio prazo como um horizonte de dez anos, e longo prazo como um horizonte de cem anos.

As duas premissas que foram consideradas básicas para a análise pretendida dos cenários futuros para os preços do carbono, são: a) cada uma das três situações clássicas que o desenvolvimento de uma economia pode apresentar: recessão, estagnação, e desenvolvimento; e b) Comportamento da sociedade em geral: se ela permanecerá convivendo como nos dias atuais, com produção e consumo insustentáveis, altamente carbono-intensivos (padrão BAU), ou se diante de todos os problemas ambientais decorrentes desse comportamento inconsciente para com o meio ambiente, esta mesma sociedade acabe aderindo à chamada economia de baixo carbono, onde se presume que, passando a agir desta forma, a atual geração estará garantindo o futuro das próximas gerações. Tendo como referências as premissas básicas mencionadas, foi montada a matriz a seguir e criados 12 (doze) possíveis cenários de médio e de longo prazos:

Dimensão da Sociedade (Comportamento)	Produção & Consumo	Dimensão da Economia (Médio Prazo)		
		Crescimento	Estagnação	Recessão
	Usual	Cenário A	Cenário E	Cenário I
	Consciente	Cenário B	Cenário F	Cenário J
	Produção & Consumo	Dimensão da Economia (Longo Prazo)		
		Crescimento	Estagnação	Recessão
Usual	Cenário C	Cenário G	Cenário K	
Consciente	Cenário D	Cenário H	Cenário L	

Quadro 3 – Preços do carbono: Cenários de médio e longo prazo
Fonte: Autor.

Serão discutidos, em seguida, os cenários apresentados no Quadro da página precedente.

Cenário A – Com economia global em crescimento e a manutenção do *business as usual*, a tendência dos preços do carbono, no médio prazo, é de alta. O consumo desenfreado de fósseis, combinado com a falta de vontade da sociedade em aderir a uma economia de baixo carbono, não só confirmarão as previsões pessimistas que o IPCC vem fazendo desde o seu primeiro relatório, em relação à ocorrência regular de eventos climáticos extremos no planeta, como também poderá, na mais pessimista das previsões, levar outros efeitos danosos às populações, seja em termos de poluição do ar (doenças respiratórias), seja em problemas crônicos na agricultura (secas), assim como efeitos inflacionários, podendo gerar escassez de petróleo, com alta generalizada nos preços globais. Ainda no contexto deste cenário, o Protocolo de Quioto, que teria vigorado até 2020, já havia sido substituído por novo tratado internacional, desta vez, ratificado por todos os países, e dispendo de novas regras, todavia mantendo o comércio internacional de emissões oriundo de Quioto, o que alancaria os preços do carbono, provocando uma alta generalizada de seus preços.

Cenário B – No médio prazo, com economia em crescimento e com uma produção e consumo conscientes, e, portanto, menor consumo de combustíveis fósseis, a tendência é a de que a concentração de GEE na atmosfera se estabilize nos próximos anos, embora ainda não nos níveis pregados por Stern (2007), que defende um crescimento de apenas duas partes por milhão ao ano, como forma de evitar maiores estragos tanto na economia quanto no meio ambiente. Ainda sob tal cenário, haveria a possibilidade dos governos pensarem seriamente em aplicar de 1 a 2% de seus PIBs em tecnologias para abatimento de emissões, criando um ambiente favorável para a vida de todas as espécies do planeta, conforme pregado pelo mesmo Stern (2007). Com este comportamento da sociedade, esperam-se temperaturas ambientes mais amenas no planeta, uma menor taxa de degelo na Antártica e no Ártico, significando também calores e frios menos rigorosos ao redor do mundo, ao longo das quatro estações. Por fim, embora plenamente favorável às condições melhores de vida no mundo, este cenário faria com que os preços do carbono, na melhor das hipóteses, se mantivessem estabilizados.

Cenário C – No longo prazo, com economia em crescimento e o modelo *business as usual* funcionando a todo vapor após 2023, o Cenário A tende a se agravar. Pode-se pensar em maior quantidade de furacões, tempestades, mudanças radicais no clima em inúmeras regiões

do mundo, seca onde recentemente haviam chuvas em abundância, perdas de vidas humanas em grande quantidade em virtude de calores ou frios intensos, e com todas as sérias previsões pessimistas do IPCC sobre o clima, se confirmando. Indubitavelmente este cenário, dentre todos os demais descritos, é o melhor dos cenários do que podem ocorrer para investidores em créditos de carbono, tendo em vista que a tendência dos agentes reguladores de emissões de GEE da Europa e dos demais países será a de restringir ainda mais a quantidade de certificados de carbono concedida a seus agentes regulados, além de taxar as emissões como medida adicional para conter as emissões, tudo fazendo com que a demanda por créditos de carbono atinja patamares históricos, alavancando com isso os preços do carbono no mercado mundial.

Cenário D – Este cenário de longo prazo seria o melhor de todos, tanto para a sociedade, quanto para a economia e também para o meio ambiente, exceto para quem tenha investido em créditos de carbono. Economia em desenvolvimento, estando a sociedade em paralelo adotando a postura permanente do consumo consciente significaria uma economia de baixo carbono. Menores emissões registradas em todo o mundo, por meio da substituição das fontes fósseis nas matrizes energéticas dos principais *players* da economia global, por fontes renováveis significaria, ao menos, um adiamento das tragédias climáticas previstas para o modelo vigente (BAU), além de inúmeros novos empregos, principalmente na área ambiental, pela necessidade das empresas ter técnicos especializados nas várias funções que esta área especializada vem proporcionando ao longo do tempo. Como mencionado, neste tipo de cenário, a demanda das empresas por créditos de carbono seria bastante reduzida, o que forçaria os preços do carbono caírem a tal ponto que poderia o levar este mercado especializado à extinção em todo mundo.

Cenário E – Com economia estagnada e a sociedade ainda em pleno gozo de produção e consumo usuais, nos mesmos moldes de fins do Século XX início do Século XXI, o que se pode inferir é que neste ritmo de crescimento da economia muito baixo ou próximo do zero, seria a manutenção do mesmo *status quo*, com média de crescimento das emissões constantes, poucos investimentos em fontes renováveis, empresas adiando investimentos, propiciando poucos postos de trabalho para a sociedade, agravando as questões sociais existentes quase no mundo, todo como a fome e a miséria. Em tal quadro, se pode prever baixa procura por créditos de carbono e preços da *commodity* relativamente estabilizados.

Cenário F – Este cenário de médio prazo, com economia estagnada e um consumo consciente por parte da sociedade, sem dúvida proporcionará melhores indicadores de emissões, não só pelas atitudes política e ambientalmente corretas da sociedade, comprando produtos com baixo teor de carbono, como também pelo freio que a situação vigente na economia irá impor à produção das indústrias carbono-intensivas. Podemos, diante deste cenário, prever uma baixa oferta de empregos para a sociedade, menor produção e consumo de combustíveis fósseis, medidas não tão rigorosas por parte dos agentes reguladores de emissões impostas aos seus regulados, e ainda, poucos certificados de carbono distribuídos ou vendidos às empresas, em patamares que não exercerão pressão sobre a oferta de certificados de carbono circulando no mercado. A tendência que este cenário nos possibilita antever em relação aos preços do carbono é a estabilidade destes preços no período.

Cenário G – Com economia estagnada, e ainda prevalecendo na sociedade o modelo BAU, este cenário de longo prazo se não é o pior possível em termos de desemprego para a sociedade em geral, na visão dos investidores em créditos de carbono pode ser a chance de auferir bons lucros, tendo em vista que as emissões de GEE permanecerão estáveis, e dependendo da atuação dos agentes reguladores reduzindo a quantidade de leilões de carbono e bem administrando a concessão e/ou venda de novos certificados no intuito de estabelecer um preço sombra julgado acessível pelo mercado, pode oferecer a oportunidade esperada por estes investidores de obterem algum retorno financeiro. Em termos ambientais, se pode prever neste cenário, custos de extração dos fósseis em patamares altos, preços dos combustíveis fósseis estabilizados, e investimentos em energia renovável em situação de estabilidade. Alguns países emergentes ainda temem estabelecer regras para a taxação para as emissões de GEE em face das pressões provenientes da indústria do petróleo.

Cenário H – Este cenário de longo prazo, com economia estagnada e com a sociedade adotando uma produção e consumo conscientes, podemos esperar uma menor quantidade de emissões de GEE, menor demanda das empresas por créditos de carbono, e, por consequência, menores preços nas cotações do carbono nas bolsas especializadas. Eventos climáticos externos serão esperados neste cenário, e apesar das perdas humanas e patrimoniais que sempre ocorrem nestes casos, tais eventos servirão como mais incentivos para a sociedade em geral continuar exigindo para seu consumo, produtos certificados e com baixo teor de carbono. Novos postos de trabalho serão raros, sendo a parcela mais jovem da população,

assim como os mais idosos os mais prejudicados. Apesar dos preços dos combustíveis fósseis apresentarem-se em baixa, espera-se que a concentração de GEE na atmosfera tenha atingido tal nível preocupante, que finalmente as pessoas tenham definitivamente se conscientizado de que o planeta exige cuidados dolorosos, baixo consumo de carbono e que cada um de seus habitantes será responsável, nos anos vindouros, pela manutenção da vida na Terra tal como era no Século XX.

Cenário I – Com economia em recessão e a sociedade ainda mantendo um comportamento no padrão BAU, para este cenário de médio prazo o que se pode imaginar é que a atuação dos agentes reguladores ao redor do mundo será primordial para que a concentração de GEE na atmosfera se mantenha em ritmo aceitável, na ordem de duas partes por milhão ao ano, conforme pregado por STERN (2007). Um maior rigor na concessão de licenças de emissão, preços mínimos (preços-sombra) elevados por ocasião da realização de leilões de certificados de carbono pelos países, e assim provocando uma maior demanda por créditos de carbono por parte das empresas, o que irá elevar os preços dos certificados nas bolsas especializadas. Há de ser levado em consideração, que na ocorrência deste cenário, o mercado de carbono da China, maior emissora de GEE do mundo, e maior detentora de créditos de carbono provenientes do MDL de Quioto, já estará devidamente amadurecido após sua criação e início de operações em 2013. A tendência do mercado de carbono ante o cenário desenhado é a de decolar.

Cenário J - Este cenário de médio prazo com economia em estado recessivo, além de um comportamento consciente da sociedade no que se refere à produção e consumo, enseja que a grande pressão da sociedade para a redução das emissões de GEE, em face da ocorrência de eventos climáticos extremos em algumas regiões do planeta, vem surtindo efeito, e, por conseguinte, resultando em menores emissões totais. Por conta dessas ações, a concentração de GEE na atmosfera poderá começar a se estabilizar, fazendo com que os custos de abatimento das emissões e o preço do carbono permaneçam estáveis, sem grandes oscilações. Da mesma forma, começando a concentração de GEE na atmosfera a se estabilizar e o mercado de carbono chinês, criado em 2013, passando a dominar o mercado mundial, os agentes reguladores do mercado de carbono ao redor do mundo, deverão voltar a emitir e/ou vender certificados de carbono ao mercado, promovendo novos leilões – *uma vez que o excesso de oferta de créditos, registrado em anos anteriores deverá ser totalmente absorvido*

pelo mercado chinês – no intuito de apenas estabelecer um preço-sombra para a tonelada de carbono como forma de trazer os preços da commodity a níveis que considerarem adequados.

Cenário K – Para este cenário de longo prazo, economia em estado recessivo, e com a sociedade mantendo o seu *status quo* (BAU), pode-se projetar um ambiente no planeta bastante diferente do que se viveu no Século XX, com alterações climáticas de grande monta em diversas regiões do planeta, sendo absolutamente confirmadas todas as previsões pessimistas que o IPCC já trazia ao público desde o ano 2007. Estima-se que neste cenário a concentração de GEE na atmosfera já tenha atingido nível bastante preocupante – decorrente de anos a fio de alto volume de emissões por parte das grandes corporações. Apesar do estado recessivo da economia, e considerado como prioridade pelos empresários, investimentos maciços em fontes renováveis serão cada vez maiores e a produção deste tipo de energia já cresce em percentual bastante satisfatório no âmbito das matrizes energéticas das grandes potências mundiais. Neste cenário, os preços do carbono estarão em alta, puxados pela grande demanda das empresas por créditos de carbono, em face das restrições de emissões cada vez maiores por parte dos agentes reguladores.

Cenário L – Este cenário de longo prazo abriga uma economia global em recessão, com a sociedade em geral praticando e convivendo em uma economia de baixo carbono. Projeta-se a atmosfera terrestre com nível de concentração de GEE bastante elevado, porém com taxa de crescimento anual de menos de duas partes por milhão em face da recessão prolongada assim como menor uso de combustíveis fósseis. Indústrias ao redor do mundo funcionando com apenas parte de sua capacidade, embora com níveis de eficiência energética, bastante altos, e energia provinda de fontes renováveis seus principais instrumentos. Preços do petróleo, carvão e gás natural atingindo patamares mínimos em face da baixa demanda. No limiar de um cenário como este, o mercado de carbono será extinto, por perda de finalidade.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÃO

Para concluir este trabalho acadêmico muitas providências tiveram de ser tomadas. Horas de estudo, horas dispendidas em pesquisas, leitura de livros e de inúmeros *papers*, busca de preços e de dados de produção e consumo dos fósseis mais utilizados no atual modelo de desenvolvimento, indicadores de atividade econômica, dentre outros, em diversos bancos de dados nem sempre disponibilizados ao público em geral, proporcionaram uma tarefa árdua para permitir a sistematização de todos esses dados de forma que todos eles fossem detalhadamente apresentados neste texto e produzissem o resultado esperado.

O mercado regulado de carbono, embora recente, não tendo completado 10 (dez) anos da sua efetiva implementação, dá mostras de que ainda irá perdurar por um bom tempo, por ser uma das poucas alternativas que os tomadores de decisão detêm para tentar controlar o ritmo alucinante do crescimento da concentração de GEE na atmosfera, decorrente do uso contumaz de combustíveis fósseis na economia global.

O modelo que foi desenvolvido neste trabalho permitiu que fizéssemos uma pequena projeção dos cenários de médio e de longo prazo que se espera venha acontecer no mercado especializado, considerando as condições clássicas de desenvolvimento da economia global, assim como o comportamento da sociedade em geral quanto às opções ainda a ela disponíveis: manter o atual *status quo*, consumindo desbragadamente combustíveis fósseis, como se tais combustíveis fossem renovável, e com isso assumindo os riscos climáticos tão amplamente divulgados nos relatórios do IPCC, ou então, assumindo um comportamento coletivo consciente a partir do qual a humanidade passe a conviver e atuar ativamente, proporcionando a todos uma economia de baixo carbono, atitude esta que pode dar um novo alento para as gerações futuras no que se refere à viver em um planeta mais limpo e um pouco mais protegido dos efeitos danosos proporcionados pela alta concentração de GEE na atmosfera.

Finalmente, em função dos cenários propostos no Quadro 3 do Capítulo 6, o modelo proposto pode ser utilizado como uma ferramenta de tomada de decisões.

Como exemplo, podemos citar as análises do mercado de carbono levadas a efeito e publicadas para seus clientes pelas corretoras internacionais especializadas em

negócios com carbono, que constroem modelos similares ao apresentado por este autor na Figura 22, levando em consideração cenários diversos, semelhantes, ou totalmente diferentes dos apresentados no Capítulo 6, buscando adequá-los à realidade com a qual se defrontam no dia a dia.

Outros usos pelos tomadores de decisão certamente poderão ser feitos com base no modelo construído e apresentado na Figura 22. Por exemplo, considerando os reais níveis de concentração de GEE na atmosfera, para se projetar os preços dos certificados de carbono, ou ainda, de modo contrário, se partir do preço real do carbono, adotado pelo mercado internacional, para se projetar a concentração de GEE na atmosfera.

Pode-se ainda, com base em dados reais de preços, número de certificados emitidos, de qualquer espécie (CER, EUA ou ERU), estimar em que grau de eficácia as restrições impostas pela EU ETS estão de fato regulando o preço do carbono para níveis satisfatórios, ou seja, preços estes que mantenham o interesse dos investidores em continuar negociando carbono (comprando e/ou vendendo), ou se restrições ainda mais rigorosas da EU ETS serão necessárias para se atingir os níveis desejados.

Enfim, a gama de aplicações do modelo desenvolvido neste trabalho acadêmico é extensa, dependendo apenas do alcance das estimativas e do nível de confiança que se pretende atingir nas projeções, podendo ser utilizadas as diversas variáveis elencadas no Capítulo 5, indistintamente, isoladas, ou em conjunto.

Rio de Janeiro, 29 de Agosto de 2013.

João Carlos Nascimento Alcantara
DRE 110033349

REFERÊNCIAS

AGUIAR (2009). A. C. J. *Avaliação de possíveis efeitos distributivos decorrentes da incidência da taxaço de carbono sobre combustíveis automotivos no Brasil*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE, 2009.

BASHMAKOV, I. *et al.*. *Policies, Measures, and Instruments. 2001. Chapter 6. In: B. Metz et al. Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York, N.Y., U.S.A. Disponível em:

<http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg3/454.htm>.

Acesso em: 30/06/2012.

BGR (2012). German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. 2012. Disponível em: <http://www.bgr.bund.de/EN/Home/homepage_node_en.html>.

Acesso em: 12/07/2012.

BOVESPA (2008). Bolsa de Valores de São Paulo. “BOVESPA sedia segundo leilão de créditos de carbono”. In:

<http://www.acionista.com.br/bovespa/230908_leilao_creditos_carbono.htm>. Acesso em: 07/06/2011

CARBONE (2012). Tendence Carbone. 2012. *A Monthly Bulletin on the European Carbon Market*. CDC Climate Research. Casses des Dépôt. Paris. France. July, 2012. Disponível em:

<<http://www.bluenext.eu/publications/tendances.html>> Acesso em: 30/08/2012.

CHORLEY, R. J. & KENNEDY (1971), B. A. *Physical Geography: A systems approach*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1971.

CHRISTAKIS, N. A (2011). *The Surprising Power of Our Social Networks ns How They Shape Our Lives*. Harvard University, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A (1979). *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo, Editora Hucitec, 1979.

_____ (1999). *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Editora Edgard Blücher Ltda. 1ª Edição, 1999.

DECC (2011). Department of Energy and Climate Change of the United Kingdom. *Guidance on Estimating Carbon Values beyond 2050: An Interim Approach*. In:

<[http://www.decc.gov.uk/what we do/a low carbon uk/carbonvaluation/1_20100120165619_e_@@_carbonvaluesbeyond2050.pdf](http://www.decc.gov.uk/what_we_do/a_low_carbon_uk/carbonvaluation/1_20100120165619_e_@@_carbonvaluesbeyond2050.pdf)>. Acesso em: 09/06/2011.

ELLERMAN, A.D; CONVERY, J.FRANK; PERTHUIS, CHISTIAN DE (2010). *Pricing Carbon. The European Union Emissions Trading Scheme*. Cambridge University Press. London. 2010. First Edition.

ELLERMAN, A.D.; JACOBY, H.D.; DECAUX, A. (1998a) *The effects on developing countries of the Kyoto Protocol and CO₂ emissions trading*. Cambridge: MIT, 1998. 42p. (MIT Report, 41).

ELLERMAN, A.D. DECAUX (1998b). *Analysis of Post-Kioto CO₂ emissions trading using marginal abatement curves*. Cambridge: MIT, 1998. 32p. (MIT Report, 40).

EPA (2009). United States Environmental Protection Agency. *The Cap-and-Trade System*. Website, 2009. Disponível em: <<http://www.epa.gov/captrade/>>. Acesso em: 15/07/2012.

EU (2003). *Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for trading in greenhouse gas emission allowances within the Community and amending Council Directive 96/61/EC*. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2003L0087:20090625:EN:PDF>>. Acesso em: 18/05/2011.

_____ (2004). *Directive 2004/101/EC, Amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect to Kyoto Protocol's project mechanisms*. European Commission. Brussels. Disponível em: <http://eur-Lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/oj/2004/1_338/1_33820041113en00180023.pdf>. Acesso em: 15/07/2012.

_____ (2006). *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on the assessment of national allocation plans for the allocation of greenhouse gas emission allowances in the second period of the EU ETS*. European Commission. Brussels. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/enviro/m>>. Acesso em: 23/08/2012.

_____ (2008), *Directive 2008/101/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008*, Official Journal of the European Union. Disponível em: <<http://eu.vlex.com/vid/greenhouse-emission-allowance-trading-50990126>>. Acesso em: 23/08/2012.

_____ (2009). *Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009*, Official Journal of the European Union. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:en:PDF>>. Acesso em: 10/06/2012.

FERNANDES, A. C. (2003) - *Scorecard Dinâmico em Direção à Integração da Dinâmica de Sistemas com o Balanced Scorecard*. Tese de Doutorado. Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

FORRESTER J. W. - *Industrial Dynamics*. Cambridge, MIT Press, 1961.

G1 NATUREZA (2012). Jornal "O Globo on line". Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/07/emissoes-de-dioxido-de-carbono-em-2011-aumentaram-3-aponta-estudo.html>>. Acesso em: 22/07/2012.

GLOBO (2012), Jornal O Globo, RJ. “Rio, vendedor mundial de créditos de carbono”, Rio de Janeiro, Edição de 13/05/2012, Caderno de Economia, pág. 33.

HAGGETT, P. & CHORLEY, R. J.(1975) – *Modelos, paradigmas e a Nova Geografia*. In: Modelos físicos e de informação em Geografia (CHORLEY, R. J. & HAGGETT, P., Eds.). Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1-19, 1975.

HAIGH, M. J. (1985) *Geography and general systems theory, philosophical homologies and current practice*. Geoforum, 16(2): 191 – 203, 1985.

HUGGET, R.J. (1985) *Earth Surface Systems*. Springer Verlag, Berlim, 1985.

HULMES, L. L. (2004). *Pensamento Sistêmico Aplicado a Sistemas de Informação – Um Estudo de Caso*. VII SEMEAD. Comissão Central de Informática da USP. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

IEA (2012). Internacional Energy Agency. *Key World Energy Statistics 2011*. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf>. Acesso em: 10/03/2013.

_____ (2013). *Redrawing the Energy-Climate Map*. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/energyclimatemap>>. Acesso em: 10/06/2013.

IPCC (2007). *Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs. 2007b.

KOSSOY, A. & AMBROSI, P. (2010). *State and Trends of the Carbon Market 2010*. The World Bank, May 2010.

LEFEVERE, J. (2005). *Linking Emission Trading Scheme: the EU ETS and the Linking Directive*. Oxford University Press, Oxford, England.

LOVELOCK, J. (2006). *A Vingança de Gaia*. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2006. 159p.

MCTI (2011). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo*. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0217/217019.pdf>. Acesso em: 14/09/2011.

POWERSIM. *Powersim Studio 2003 Reference Manual*. 2003. Disponível em: <<http://www.powersim.com/download/manuals.asp>>. Acesso em: 12/09/2012.

PIGOU, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. MacMillan and Co., Limited. London, 1932. Forth Edition.

- QUIOTO (1997). *The Kioto Protocol*. Disponível em: <<http://treaties.un.org/doc/source/RecentTexts/kyoto-en.html>>. Acesso em: 25/07/2012.
- RODRIGUES, V., J. (2009). *Desenvolvimento Sustentável: Uma Introdução Crítica*. Principia Editora. Lisboa, 2009. 1ª Edição.
- SCHEIDEGGER, A. D (1991). *Theoretical Geomorfology*. Berlim, Springer Verlag, (3ª Edição), 1991.
- SENGE, P. M. (2010). *A Quinta Disciplina – Arte, Teoria e Prática da Organização de Aprendizagem*. São Paulo, 26ª Edição, 2010.
- SIRIWARDANA, M., MENG, S. and McNeill, J. (2011). *The Impact of a Carbon Tax on the Australian Economy: Results from a CGE Model*. School of Business, Economics and Public Policies. University of New England, Australia. Disponível em: <<http://www.une.edu.au/business-school/working-papers/economics/econwp11-2.pdf>>. Acesso em: 18/05/2012.
- SMUTS, J.C. (1926). *Holism and Evolution*. The MacMillan Company Ltd. 1st. Edition. 396 pages. New York, USA. 1926.
- STAVINS, R. N. (2001). *Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments*. Discussion Paper 01-58 (Washington, D.C.: Resources for the Future). Disponível em: <<http://www.rff.org/documents/RFF-DP-01-58.pdf>>. Acesso em: 20/05/2012.
- STERN, N. H (2007). *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cabinet Office. Her Majesty's Treasury. London, England. 2007.
- STRAHLER, A. N. (1980). *System's theory and Physical Geography*. Physical Geography, 1 (1): 1- 27, 1980.
- TOTH, F.L. *et al.* (2001). *Decision-Making Frameworks*. In: B. Metz *et al.* *Climate Change 2001: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York, N.Y., USA. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm>. Acesso em 30/06/2012.
- VENTURA FILHO, A (2013). *Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas*. Artigo. Em: Revista Interesse Nacional, Ano 6, N° 21, Abril – Junho 2013.
- WORLD BANK (2008). *State and trends of the carbon market 2008*. World Bank Report. Washington, D.C., USA.
- _____ (2009). *State and trends of the carbon market 2009*. World Bank Report. Washington, D.C. USA.
- _____ (2012). *Gem Commodities*. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/data-catalog/commodity-price-data>>. Acesso em: 12/07/2012.