

JOÃO CARLOS NASCIMENTO ALCANTARA



A DINÂMICA DE PREÇOS DOS CRÉDITOS DE CARBONO: UM ESTUDO À LUZ DO PENSAMENTO SISTÊMICO.

Trabalho apresentado para obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Romano Timofeiczuk Júnior, Dr.

**CURITIBA
2012**

RESUMO

ALCANTARA, João Carlos Nascimento. *A Dinâmica de Preços dos Créditos de Carbono: Um Estudo à Luz do Pensamento Sistêmico*. Orientador: Romano Timofeiczuk Júnior. Curitiba, PR: UFPR/Departamento de Economia Rural e Extensão/Setor de Ciências Agrárias/PECCA, 2012. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Gestão Florestal.

Os preços dos certificados de carbono no mercado internacional, popularmente conhecidos como “*créditos de carbono*”, são hoje peças importantes no controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, particularmente por parte dos tomadores de decisões das diversas regiões geopolíticas do planeta, preocupados que estão com os efeitos adversos oriundos de eventos climáticos extremos que cientistas do IPCC vêm alertando, desde o seu primeiro relatório, divulgado no ano de 2007, que a Terra invariavelmente sofrerá caso não se modifiquem, tanto no curto quanto no médio prazo, os padrões de consumo e de produção atualmente vigentes em escala global, principalmente nos países desenvolvidos.

No maior mercado de carbono do mundo, o da Comunidade Europeia, e em virtude dos compromissos assumidos pelos países que a integram nas Conferências Climáticas anuais promovidas pela CQNUMC, os certificados de carbono têm servido principalmente para auxiliar as empresas carbono-intensivas daquela região a cumprirem seus limites máximos de emissões de GEE por ano, estabelecidos pelos Agentes Reguladores Europeus, enquanto não consigam cumpri-las em face dos respectivos custos de abatimento permanecerem superiores aos preços desses certificados nas bolsas especializadas. Investidores de todos os tipos estão também aumentando o valor de seus patrimônios com as receitas geradas pelos mercados de carbono.

Este trabalho teve por finalidade estudar e avaliar a dinâmica de preços dos certificados de carbono no mercado internacional à luz do pensamento sistêmico desenvolvido por FORRESTER (1961), levando em consideração todas as variáveis que afetam seus preços direta e indiretamente, não sem antes discorrer como o mercado de carbono se desenvolveu no mundo, como também de apresentar outras formas praticadas para precificá-lo em algumas regiões do planeta, nos termos defendidos pelo acreditado artigo de PIGOU (1920).

O produto final de todo o estudo desenvolvido é ter em mãos um modelo que tanto pode ser baseado em dados reais quanto hipotéticos para se estimar os preços dos créditos de carbono no médio e longo prazo, utilizando para tal, programas especializados de computador disponíveis no mercado, como o Stella, o iThink, ou o Vensim PLE para citar apenas alguns.

ABSTRACT

ALCANTARA, João Carlos Nascimento. The Prices Dynamic of Carbon Credits: A Study in the vision of the Systemic Thinking. Advisor: Roman Timofeiczky Junior. Curitiba, PR: UFPR/Departamento de Economia Rural e Extensão/Setor de Ciências Agrárias/PECCA, 2012. Work for Specialization Course Completion in Forest Management.

The carbon certificate prices in the international market, popularly known as "carbon credits", are now important parts in controlling greenhouse gases (GHG) emissions to the atmosphere, particularly by the major part of responsible decision makers of the various world geopolitical regions, who are really worried about the adverse effects arising from the extreme climatic events that IPCC scientists have been warning humanity since its first report, released in 2007, that the Earth will deeply suffer if the human beings do not invariably modify, both in the short and medium term, the consumption and production patterns currently in effect on a global scale but in the developed countries mainly.

On the other hand, in the worldwide larger carbon market, the European Community one, and in view of the commitments made by the countries of this region in the annual UNFCCC Global Climate Conferences, the carbon certificates have been serving mainly to help carbon-intensive companies of that region to meet their goals of compulsory maximum GHG emissions per year established by the European Regulator Agents, while companies are unable to accomplish their GHG emission limitations in the face of their emission abatement costs remain higher than the prices of these certificates in the specialized exchanges. Investors of all kinds are also increasing the values of their properties with the incomes generated by the carbon markets.

This work for concluding the UFPR's Forest Management Course aims at studying and developing a model according to the dynamics of the carbon certificate prices in the international market in the view of the systemic thinking developed by FORRESTER (1961), taking into account all the variables that directly and indirectly affect its prices. Firstly, it will be presented how the carbon market has been created in the world, it will be also discussed the fossil fuels historic prices, its consumption and production along the time, and also it will be introduced in the following pages other forms practiced for pricing them around the world in the terms of PIGOU's article (1920).

The final outcome of the developed whole study is to have in hands a model that can be based on real or hypothetic data, to estimate the carbon credits prices in the medium and in the long term using for this, specialized software available in the market like the *Stella*, the *iThink* or the *Vensim PLE* to cite here just some of them.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. HISTÓRICO	5
3.2. PROJETOS MDL FLORESTAIS NO BRASIL E NO MUNDO	7
3.3. SISTEMA <i>CAP-AND-TRADE</i>	11
3.4. TAXAÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO (<i>EMISSION FEES</i>)	12
3.5. VARIÁVEIS QUE AFETAM O PREÇO DO CARBONO	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
5. RESULTADOS ALCANÇADOS	22
5.1. PREÇOS HISTÓRICOS DOS CERTIFICADOS DE CARBONO	22
5.1.1. European Union Allowances (EUAs)	22
5.1.2. Certificate of Emission Reductions (CERs)	24
5.1.3. Preços EUA X Preços CERs (mercado à vista)	25
5.1.4. Emission Reduction Units (ERUs)	26
5.2. MERCADO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS	27
5.2.1. Energia primária	27
5.2.2. Petróleo	28
5.2.2.1. Preços médios do petróleo no mercado internacional	29
5.2.3. Carvão mineral	31
5.2.3.1. Preços médios do carvão no mercado internacional	33
5.2.4. Gás natural	35
5.2.4.1. Preços médios do gás natural no mercado internacional	36
5.2.5. Energia hidráulica	38
5.2.6. Energia nuclear	39
5.3. PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE	41
5.4. INDICADORES DO NÍVEL DE ATIVIDADE ECONÔMICA NA EUROPA	43
5.5. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE ENLACE CAUSAL	48
5.5.1. Desenvolvimento e apresentação	53
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
7. REFERÊNCIAS	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

€	Euro. Moeda corrente de 27 países da Comunidade Europeia.
A\$	Dólar australiano.
AIE	Agência Internacional de Energia.
AND	Autoridade Nacional Designada.
BGR	<i>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.</i>
CE	Comunidade Europeia.
CER	<i>Certificate of Emissions Reduction.</i>
CIE	Comércio Internacional de Emissões.
COP	<i>Conference of the Parties.</i>
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas.
DS	Dinâmica de Sistemas.
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Estados Unidos).
ERU	<i>Emission Reduction Unit.</i>
EU ETS	Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia.
EUA	<i>European Union Allowance.</i>
FIGNR	<i>Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR).</i>
GEE	Gás de Efeito Estufa.
IC	Projeto de Implementação Conjunta.
ICE	<i>Intercontinental Exchange Inc.</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology.</i>
Mt	Milhões de toneladas.
Mtoe	Milhões de toneladas equivalentes.
OEP	Oferta de Energia Primária.
ONU	Organização das Nações Unidas.
PIB	Produto Interno Bruto.
RCE	Redução Certificada de Emissões.
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso.
tCO ₂ e	Tonelada de carbono equivalente.
UE	União Europeia.
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change.</i>

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Projetos MDL Florestais registrados na CQNUMC.
TABELA 2 -	Preços médios de uma EUA na Bolsa BLUENEXT.
TABELA 3 -	Preços médios das EUAs no mercado futuro.
TABELA 4 -	Preços médios das CERs na Bolsa BLUENEXT.
TABELA 5 -	Preços médios das ERUs na Bolsa BLUENEXT.
TABELA 6 -	Oferta de energia primária no mundo.
TABELA 7 -	Produção mundial de petróleo.
TABELA 8 -	Principais países produtores, exportadores, e importadores de petróleo.
TABELA 9 -	Preços do petróleo Brent no mercado internacional.
TABELA 10 -	Produção mundial de carvão.
TABELA 11 -	Principais países produtores, exportadores, e importadores de carvão.
TABELA 12 -	Preços do carvão no mercado internacional.
TABELA 13 -	Produção mundial de gás natural.
TABELA 14 -	Principais países produtores, exportadores, e importadores de gás natural.
TABELA 15 -	Preços do gás natural no mercado internacional.
TABELA 16 -	Produção de hidroeletricidade no mundo.
TABELA 17 -	Líderes na geração de hidroeletricidade e em capacidade instalada.
TABELA 18 -	Produção de eletricidade via fissão nuclear.
TABELA 19 -	Países-líderes na produção de eletricidade via fissão nuclear.
TABELA 20 -	Produção mundial de EE por fonte.
TABELA 21 -	Maiores produtores de eletricidade, por fonte.
TABELA 22 -	Indicadores de atividade econômica na zona do Euro.
TABELA 23 -	Dados socioambientais extraídos das Comunicações Nacionais (1990).
TABELA 24 -	Dados socioambientais extraídos das Comunicações Nacionais (2008).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Variáveis exógenas que afetam o preço do carbono.

FIGURA 2 - *Loop* de reforço (R+).

FIGURA 3 - *Loop* de equilíbrio (E-)

FIGURA 4 - Representação de um sistema de retroalimentação (*feedback*).

FIGURA 5 - Inter-relacionamento *pari-passu* entre as variáveis (Etapa 2 – Parcial I).

FIGURA 6 - Inter-relacionamento entre as variáveis (Etapa 2 – Parcial II).

FIGURA 7 - Diagrama concluído, com indicação de alguns dos diversos *feedbacks* de Equilíbrio (E-) ou de Reforço (R+). (Etapa 3 - Final).

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Indicativos gráficos utilizados na perspectiva *hard* da DS.

QUADRO 2 - Variáveis integrantes do modelo - Etapa 1.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Evolução dos preços médios das EUAs (2005 - 2012).

GRÁFICO 2 - Evolução dos preços médios das CERs (2007 - 2012).

GRÁFICO 3 - EUA X CER (mercado à vista).

GRÁFICO 4 - Evolução dos preços médios das ERUs (Dez 2007/Ago 2012).

GRÁFICO 5 - Evolução dos preços do petróleo Brent no mercado internacional.

GRÁFICO 6 - Principais produtores de carvão duro (*hard coal*).

GRÁFICO 7 - Principais produtores de carvão marrom (*brown coal*).

GRÁFICO 8 - Preços do carvão australiano.

GRÁFICO 9 - Preços do gás natural na Europa.

GRÁFICO 10 - Comparativo de preços de mercado (petróleo, carvão e gás natural).

GRÁFICO 11 - Energia elétrica gerada com carvão (mundo).

GRÁFICO 12 - Energia elétrica gerada com óleo combustível (mundo).

GRÁFICO 13 - Energia elétrica gerada com gás natural (mundo).

GRÁFICO 14 - Indicadores da atividade econômica – Europa 27.

1. INTRODUÇÃO

Os preços da tonelada de carbono no mercado internacional são hoje peças importantes no controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Embora venha sendo constatado nos dias atuais uma significativa redução em seus 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, a tonelada de carbono equivalente segundo o banco de dados disponibilizado na página Internet da mencionada bolsa francesa¹ atingiu no mercado à vista €27,03. Em contrapartida, no agosto de 2012, o preço da tonelada na mesma bolsa atingiu o valor de € 7,55. Esta redução significativa de preços é decorrente do efeito de inúmeras variáveis que afetam por vezes os seus preços, 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 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 gases de efeito estufa (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 de 2008 com o pedido de concordata da empresa Lehman Brothers², nos Estados Unidos, a chamada “crise das *subprimes*” -

¹ Disponível em: <http://www.bluenext.eu/publications/tendances.html>. Acesso em 03/09/2012.

² Lehman Brothers Holdings Inc. foi um banco de investimento e provedor de outros serviços financeiros, com atuação global, sediado em Nova Iorque. Era uma empresa global de serviços financeiros que, até declarar concordata em 2008, fez negócios no ramo de investimentos de capital venda em renda fixa, negociação, gestão de investimento. Seu negociante principal era o tesouro americano 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.

a redução de preços dos créditos de carbono (ou certificados de carbono), se fez sentir no médio prazo – uma vez que segundo CARBONE (2011) uma menor produção industrial, resultante de recessão econômica, significa menores emissões de carbono para a atmosfera, 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.

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 os preços desta *commodity* 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 reduzirem 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 carbono” para os agentes reguladores.

O maior mercado 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 limitou as emissões de CO₂ na União Europeia, e em seguida distribuiu permissões (*allowances*) aos grandes consumidores de energia elétrica da comunidade. Uma permissão (EUA) 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 negociado 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% dos níveis de 1990 até fins de 2012, fazê-lo em até 8% no mesmo período (ELLERMAN *at 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 de carbono comercializado em escala mundial, de acordo com KOSSOY & AMBROSI (2010).

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 ativo financeiro, tanto para previsões no mercado à vista, quanto para o mercado futuro.

Como em qualquer mercado de *commodities*, espera-se que certos elementos fundamentais (no jargão do mercado financeiro, os “*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 pelas empresas controladas (ou reguladas) pela EU ETS.

Segundo ELLERMAN *at al.* (2010), a quantidade de licenças para emitir é limitada e definida periodicamente pela Comissão Europeia (CE), que 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 elementos do regime de comércio de emissões europeu foram diferentes em sua Fase 1 (2005 a 2007), na Fase 2 (2008 a 2012), e na futura 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, com base no pensamento sistêmico, na dinâmica de sistemas desenvolvida por FORRESTER (1961), e a montagem de um Diagrama de Enlace Causal.

2. OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo geral analisar a dinâmica de preços dos certificados de carbono no mercado internacional, principalmente no maior desses mercados, o europeu, fazendo a compilação dos dados aplicando os instrumentos disponibilizados pelo chamado “pensamento sistêmico” nos processos de tomada de decisão.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar 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 e localizada na França (Paris);
- Analisar 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);
- Analisar 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 (sistema) desenhado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HISTÓRICO

Sob o Protocolo de Quioto³, 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 de Quioto, em 1997, o que se pretendia que ocorresse no mercado mundial, na visão dos tomadores de decisão, era que em sendo os custos envolvidos nas mudanças de tecnologia para a redução de emissões de GEE para a atmosfera (custos de abatimento) maiores do que os preços de compra de certificados de carbono tornariam os chamados créditos de carbono financeiramente atraentes (mais baratos) para os empresários, do que investir em mudanças de tecnologias ou em eficiência energética que pudessem tornar a produção das indústrias menos poluentes e mais eficientes, de acordo com ELLERMAN *et al.* (1998a) e ELLERMAN *et al.*(1998b).

De fato, segundo os mesmos autores, nos tempos de Quioto os custos de abatimento das emissões no Japão, 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 emissões.

TOTH *et al.* (2001) afirmam que os mecanismos de flexibilização de Quioto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e o de Implementação

³ 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.

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).

Todos os três mecanismos citados por TOTH *et al.* (2001), 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 como um todo 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 mundial e o que vem apresentando relativo sucesso na redução das emissões de CO₂e por parte dos países daquela região. Na verdade, nenhum país que ratificou Quioto conseguirá alcançar as metas compromissadas no Protocolo até o final do seu primeiro compromisso (dezembro de 2012), ou seja, o compromisso de reduzir suas emissões de carbono em 5,2% em relação aos níveis de emissão registrados em 1990, razão pela qual na falta de um novo tratado internacional que force os países da comunidade internacional a tomarem medidas internas rigorosas e restritivas em emissões de GEE, tenha sido o Protocolo de Quioto prorrogado a partir de 2013 até 2017 ou de 2013 até 2020, de acordo com a decisão provisória conjunta, tomada pelos países que participaram da 17ª Conferência das Partes (COP-17) da ONU em Durban, África do Sul, em dezembro de 2011, e denominada de “*Plataforma de Durban*”⁴.

⁴ A Plataforma de Durban é o nome que foi dado ao conjunto de acordos obtidos na 17ª Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP-17), iniciada em 28 de novembro e encerrada em 11 de dezembro de 2011, na cidade sul-africana de Durban. O documento determina uma segunda fase para o Protocolo de Quioto, estabelece o mecanismo que deve reger o Fundo Verde para o Clima e traça um “Mapa do Caminho” para um novo acordo global. A íntegra do documento, em inglês, está disponibilizada em: <http://www.un.org/wcm/content/site/climatechange/pages/gateway/the-negotiations/durban>. Acesso em 21/07/2012.

Portanto, a comercialização de carbono ainda é, e será por muito tempo, um dos poucos instrumentos de compensação pela não redução de emissões de GEE, ou para o alcance das metas fixadas para indústrias e demais empresas carbono-intensivas pelo sistema *cap-and-trade*, se transformando em uma das poucas alternativas à disposição da humanidade para evitar os eventos climáticos com alto poder de destruição, de acordo com o que vem sendo previsto e acatado por grande parte da comunidade internacional, com base nos estudos apresentados desde 2007 pelos cientistas que compõem os quadros do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007).

3.2. PROJETOS MDL FLORESTAIS NO BRASIL E NO MUNDO

Além de projetos nas áreas de agropecuária, energia, industrial e uso de solventes, e na de tratamento de resíduos, projetos florestais, no que tange ao escopo setorial de uso da terra, mudança no uso da terra e florestas, também são admitidos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, embora sob certas condições.

O Brasil, pela sua irrefutável vocação florestal, sempre possuiu enorme potencial para implementação de projetos MDL nesta área, os quais se propõem a reduzir a concentração global de dióxido de carbono pelo plantio de árvores que, durante seu crescimento, irão fixar CO₂ pelo processo de fotossíntese (o chamado "sequestro de carbono"). O ciclo das atividades de projetos MDL na área florestal (20 anos, com possibilidade de duas renovações) é especialmente compatível com culturas florestais de ciclo superior a 20 (vinte) anos, como é o caso dos plantios de pinus destinados à fabricação de produtos sólidos de madeira, implantados com sucesso nas regiões sul e sudeste do país.

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação⁵ brasileiro, a maior parte das 310 atividades de projeto desenvolvidas e encaminhadas para análise da Autoridade Nacional Designada (AND) e já com Cartas de Aprovação expedidas pelo Governo Brasileiro para a CQNUMC, está no setor de geração de energia (50%), seguido pelos setores de suinocultura (17%), troca de combustível

⁵ Disponível em:

http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57967/Atividades_de_Projetos_MDL_Aprovados_nos_Termos_da_Resolucao_N_1.html. Acesso em 12/07/2012.

fóssil (10%) e de aterro sanitário (8%). Conforme esclarece a mesma fonte, apesar de boa parte das emissões brasileiras estarem relacionadas à mudanças no uso da terra (75%), a participação do setor florestal no MDL se restringe a apenas 2 (dois) projetos de reflorestamento, os quais contribuirão com a redução de somente 3,4% das emissões que serão evitadas no primeiro período de obtenção de créditos, que se esgota em dezembro de 2012 (QUIOTO, 1997).

Este cenário reflete, entre outras coisas, as restrições que foram colocadas no âmbito do MDL para esta modalidade de atividade, ao baixo interesse por parte dos investidores devido ao caráter temporário dos créditos concedidos a projetos florestais, as incertezas sobre a adicionalidade do projeto em relação a sua linha de base, nem sempre muito claras, e aos altos custos de transação.

Com estas dificuldades, mais o fato da não inclusão do desmatamento evitado como atividade elegível para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto, países Não-Anexo I (em desenvolvimento), detentores de florestas e responsáveis por uma quantidade significativa de emissões oriundas do desmatamento, como é o caso dos países amazônicos e da Indonésia, viram por demais limitadas as suas participações no mercado de carbono (REMADE, 2006).

O principal motivo para a inclusão de projetos florestais no âmbito do MDL - incentivado pelo Acordo de Marraqueche⁶ - foi baseado em sua eficiência econômica, no sentido de que neles se consegue um menor custo por unidade de carbono sequestrado, uma vez que são os mais baratos dentre todos os mecanismos previstos. Afora esta questão, projetos MDL florestais podem ser gerados trazendo inúmeros benefícios ambientais, como a preservação do solo, a qualidade e a disponibilidade de água, a proteção a biodiversidade, a criação de zonas amortecedoras e de corredores migratórios, a utilização de espécies nativas assim como o uso sustentável dos recursos naturais.

⁶ O Acordo de Marraqueche foi assinado pelos países signatários do Protocolo de Quioto na Sétima Conferência das Partes (COP-7), realizada entre 29/10 e 09/11/2001, no Marrocos, COP esta que determinou como elegíveis para projetos relacionados à fixação e remoção de CO₂, no âmbito do Art. 12 do Protocolo de Quioto, durante seu primeiro período de compromissos (2008 – 2012), atividades de florestamento e reflorestamento.

Desta forma, ficaram definidos pela CQNUMC como projetos florestais elegíveis para inclusão no MDL, projetos de florestamento e de reflorestamento, que consistam em: (i) recomposição de florestas em áreas protegidas; (ii) novos plantios florestais comerciais; e (iii) reabilitação de áreas degradadas através do plantio ou regeneração natural monitorada de espécies florestais, tendo como base as seguintes definições, estabelecidas pela Autoridade Nacional Designada (AND) brasileira:

- Reflorestamento: elegível para projetos desenvolvidos em terras originalmente cobertas por florestas, mas que não continham florestas a partir de 31 de dezembro de 1989 até os dias atuais;

- Florestamento: caracterizado pelo plantio de florestas em áreas que não possuem esse tipo de cobertura vegetal há, pelo menos, 50 anos; e

- Floresta: áreas com valor mínimo de cobertura de copa de 30 (trinta) por cento, estabelecidas em uma área mínima de 01 (um) hectare, com árvores com altura mínima de 05 (cinco) metros. Para que sejam elegíveis as áreas de projeto não podem ser classificadas como florestas. Dada a grande diversidade nacional de biomas a definição estabelecida de floresta pode levar determinadas áreas pobres em cobertura vegetal a serem consideradas como tal, tornando-se inelegíveis como áreas para implantação de projetos de MDL. Por outro lado, essa definição pode levar determinadas culturas perenes, potenciais candidatas a projetos de MDL pelas atividades de reflorestamento/florestamento, a não serem classificadas como “florestas implantadas”, impossibilitando seu registro como projeto de MDL.

Todas as dificuldades antes relacionadas, também vêm se refletindo a nível mundial para a implantação de projetos florestais no âmbito do MDL. Segundo a página Internet da CQNUMC⁷, apenas 40 (quarenta) projetos florestais de todo o planeta foram registrados naquela agência especializada da ONU, desde o ano de 2006 até setembro de 2012, e que somadas as respectivas reduções globais desses projetos, elas representam uma redução total de emissões de GEE da ordem de 1.479.119 (um milhão, quatrocentos e setenta e nove mil, cento e dezenove) toneladas de carbono equivalente (tCO₂e).

⁷ Disponível em <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em 30/08/2012.

A contribuição de cada país Não-Anexo I do Protocolo de Quioto na produção e registro de projetos florestais na CQNUMC, no âmbito do MDL, encontra-se na tabela a seguir.

TABELA 1 – PROJETOS MDL FLORESTAIS REGISTRADOS NA CQNUMC ATÉ 09/2012.

Data de Registro do Projeto	Nº de Registro na CQNUMC	País	Reduções Estimadas de Emissões de GEE (tCO ₂ e)
30/01/2009	1948	Moldávia	179.242
07/01/2011	3887	Brasil	157.635
01/08/2011	5016	Índia	146.998
27/05/2011	4851	Índia	92.103
15/09/2010	3561	China	87.308
03/01/2012	4957	Chile	72.019
26/05/2011	4595	Colômbia	66.652
11/02/2011	4127	Argentina	66.038
05/06/2009	2241	Índia	57.792
18/02/2011	4176	Congo	54.511
26/06/2012	6301	Colômbia	51.195
16/11/2009	2715	Peru	48.689
04/03/2011	4174	Índia	41.400
16/04/2010	2996	Colômbia	37.783
17/02/2011	3233	Colômbia	36.930
07/06/2011	4861	Colômbia	32.965
07/12/2009	2712	Etiópia	29.343
10/11/2006	0547	China	25.795
04/11/2011	4653	Uganda	24.702
16/11/2009	2700	China	23.030
02/01/2010	2714	Albânia	22.964
03/12/2010	3845	Uruguai	21.957
23/03/2009	2345	Índia	11.596
27/05/2010	3338	Chile	9.292
05/10/2011	3207	Quênia	8.809
11/06/2011	3206	Quênia	8.542
07/05/2011	3970	Nicarágua	7.915
06/03/2012	5585	Quênia	7.427
20/06/2011	4466	Uganda	5.925
23/08/2011	4939	Uganda	5.881
21/08/2009	1578	Uganda	5.564
28/02/2011	4531	Índia	4.896
23/08/2011	4940	Uganda	4.861
11/06/2009	2510	Bolívia	4.341
29/08/2011	4941	Uganda	3.964
15/01/2010	3000	Índia	3.594
21/03/2012	5265	Senegal	2.704
28/04/2009	2363	Vietnam	2.665
21/07/2010	2569	Brasil	2.569
06/09/2009	2694	Paraguai	1.523
Total (tCO ₂ e)			1.479.119

Fonte: <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em 27/09/2012.

3.3. SISTEMA CAP-AND-TRADE

Um sistema é classificado como sendo do tipo “*cap-and-trade*” quando se apresenta como um sistema regulado por uma entidade onde o objetivo geral é reduzir as emissões de poluentes. Ele 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 visando reduzir seus níveis de emissão mais rápido do que seus concorrentes, por meio de mudanças tecnológicas na produção de bens e de serviços. Sob um sistema “*cap-and-trade*”, um limite (*cap*) é determinado 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)

STAVINS (2001) afirma que o comércio de emissões (*emissions trading*) ou um sistema *cap-and-trade* são abordagens baseadas no mercado sendo usadas para controlar a poluição através de incentivos econômicos para alcançar reduções nas emissões de poluentes. A autoridade central (geralmente um organismo governamental) define um limite sobre a quantidade do(s) poluente(s) que pode(m) ser emitida. 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). As empresas estão obrigadas a possuir um número de licenças (ou créditos de carbono) equivalente às emissões que a elas foram permitidas. 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, ou as que não conseguiram cumprir a meta estabelecida, devem comprar no mercado diretamente das empresas que conseguiram reduzir suas emissões ou por meio de leilões periódicos promovidos pelos governos, principalmente os da Alemanha e do Reino Unido.

Ainda conforme STAVINS (2001), a transferência de licenças 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, ainda fazem caixa e estabelecem, indiretamente, um preço sombra⁸ para a tonelada de carbono. Assim, em teoria, aqueles 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 utiliza da função de comando-controle no sentido *strictu senso*.

Existem programas de troca de ativos para diversos poluentes atmosféricos. Para os GEE o maior é o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS), cujo objetivo primordial é evitar os perigosos eventos climáticos previstos pelo IPCC desde 2007. Nos Estados Unidos existe um mercado nacional para reduzir a incidência de chuvas ácidas no território americano e vários mercados regionais daquele país negociam também com emissões de óxidos de nitrogênio (EPA, 2009).

3.4. TAXAÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO (*EMISSION FEES*).

Outra forma com que a emissão de poluentes também pode ser controlada, segundo muitos pesquisadores, 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 implantação, na prática, das ideias de PIGOU (1920) onde, em seu trabalho, “*A Economia do Bem-Estar*”, ficou pela primeira vez conhecido, o chamado “*Princípio do Poluidor-Pagador*”, onde, como o próprio nome diz, o poluidor é quem deve pagar pela poluição que produz. Segundo este autor, para o controle da escassez dos recursos naturais, seria necessário à aplicação de uma taxa que igualaria o montante total do custo marginal da poluição adicional imposta à sociedade. Dessa forma, o fabricante de um

⁸ 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.

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 sombra 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*” do Governo da Austrália, ou, em português, Departamento de Mudanças Climáticas e de Eficiência Energética⁹, teve início naquele país em 1º de julho de 2012, a taxação, em dólares australianos (A\$), de A\$ 23/tCO₂e, aproximadamente. €18,00 por tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) emitida pelas indústrias locais. Esta taxa irá vigorar até 2015, quando entrará em ação um sistema *cap-and-trade* para as emissões, com previsão de taxa mínima de A\$ 15/tCO₂e (aprox. €11,70/tCO₂e), ainda sujeita à regulamentação pelo governo.

De acordo com SIRIWARDANA *et al.* (2011), esta taxa por emissão de carbono de A\$23/tCO₂e, que passou a ser cobrada das indústrias locais, será responsável por um declínio no curto prazo de 0,68% no PIB do país, o índice de preços ao consumidor (inflação) poderá aumentar em até 0,75%, e o preço da eletricidade subir cerca de 26%. No entanto, segundo os mesmos autores, a cobrança desta taxa ambiental irá reduzir substancialmente as emissões de GEE do país, para cerca 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 essa medida: Itália, Alemanha, Reino Unido, Nova Zelândia, Estados Unidos e Canadá (AGUIAR, 2009).

A Noruega introduziu a sua taxa sobre o carbono em 1991, abrangendo os combustíveis fósseis petróleo e diesel. Mesmo com o preço mais caro dos combustíveis e com quase a totalidade da demanda por eletricidade sendo suprida

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

por fontes hídricas, o comportamento da população do país não mudou, e as emissões de GEE ainda assim cresceram. A meta da Noruega é cortar em 30% as emissões de CO₂ até 2020, com base nos níveis de 1990.

O orçamento da Noruega 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, entrou em vigor na Comunidade Europeia, legislação que obriga as companhias aéreas que operam na região, independentemente das suas nacionalidades, a pagarem uma taxa de carbono equivalente a 15% de suas emissões de CO₂, que correspondem 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 deve 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 investimento em fontes renováveis, as emissões de GEE que continuam sendo registradas apresentam um quadro desolador.

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.

Conforme G1 NATUREZA (2012)¹¹, as emissões globais de dióxido de carbono tiveram um aumento de 3% em 2011 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.

De acordo com o relatório, 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% para 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 emissões por habitante, com média de 17,3 toneladas, apesar da crise de 2008/2009 e da subida do preço do petróleo e do gás.

Segundo a mesma fonte, 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 no ano passado são: China (29%), Estados Unidos (16%), União Europeia (11%), Índia (6%), da Federação Russa (5 %) e Japão (4%). Um total de 420 bilhões de toneladas de dióxido de carbono foram emitidos 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 2º C acima dos níveis pré-industriais - meta adotada nas

¹¹ 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.

negociações climáticas das Nações Unidas - só é 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.

3.5. VARIÁVEIS QUE AFETAM O PREÇO DO CARBONO

Sob um regime *cap-and-trade* (STAVINS, 2001), e considerando que por sua abundância na natureza, o carvão mineral é o combustível fóssil mais barato do mercado, embora também o combustível fóssil mais poluente em termos de emissões de GEE que se conhece, o carvão mineral é o combustível mais utilizado para a produção de energia no mundo¹². Um inverno mais rigoroso na Europa ou nos Estados Unidos, por exemplo, aumentaria no curto prazo a procura por carvão para produção de energia (aquecimento), aumentando as emissões antrópicas anuais de CO₂ para a atmosfera. Uma recessão econômica em países industrializados diminui os níveis globais das atividades econômicas, e, por consequência direta, o nível das emissões de GEE.

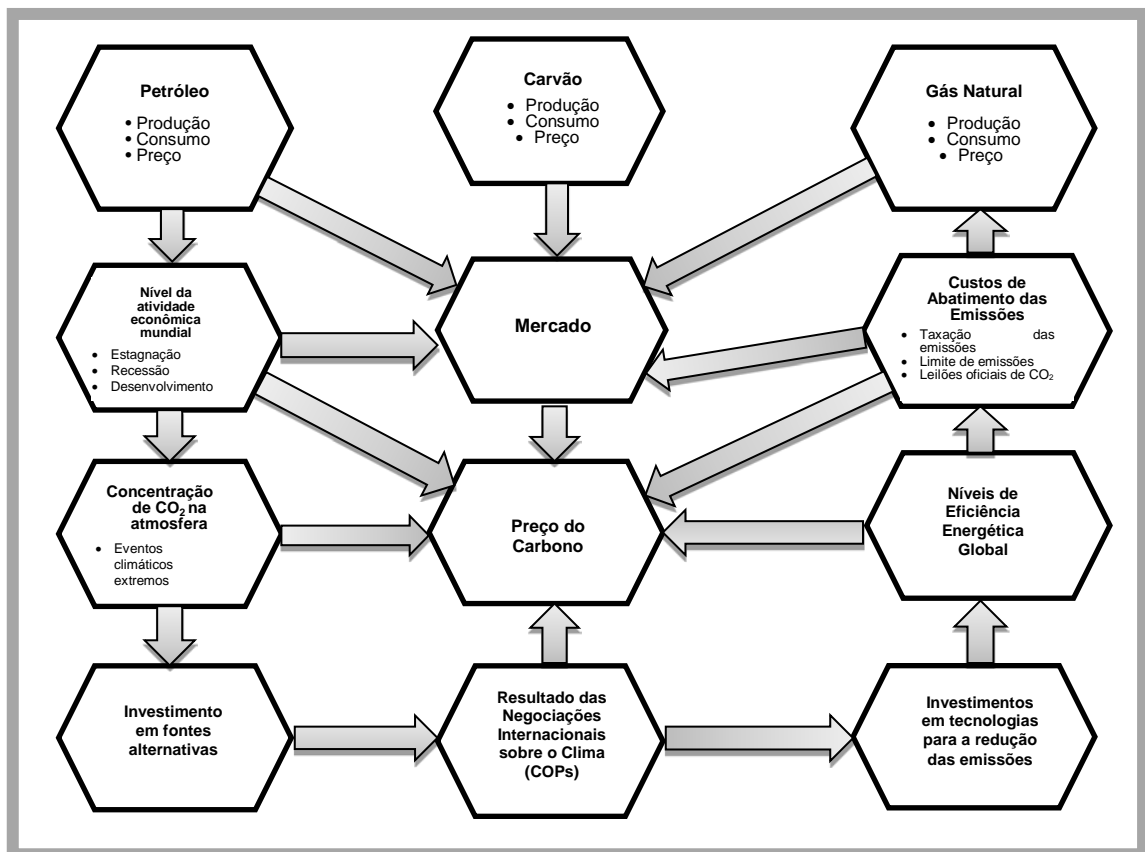
Segundo CARBONE (2011) um aumento dos níveis de eficiência energética – onde se utilize menos combustíveis fósseis para a produção de energia – produz o mesmo efeito, ou seja, menores emissões. A descoberta de novas reservas de petróleo ou de gás natural pelo mundo, por outro lado, aumenta a oferta de combustíveis fósseis e diminuem as expectativas de esgotamento destes recursos no médio e no longo prazo, o que faz com que a utilização do carvão, do petróleo e dos demais fósseis continuem a ser incentivadas pelos defensores do setor, causando concentração adicional de GEE na atmosfera.

Outro tema que interfere direta e indiretamente nos preços dos certificados de carbono no mercado internacional são os sucessivos insucessos das negociações internacionais sobre as mudanças climáticas, que faz com que o mercado de carbono se retraia, tornando os preços da tonelada de carbono extremamente baixos, e desestimulando investidores a participarem deste mercado. ELLERMAN *et al* (2010) por sua vez, afirmam existem diversas variáveis que

¹² 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*.

afetam o preço do carbono no mercado internacional e conforme a figura abaixo apresentam as que têm efeito direto, teórico, sobre estes preços:

FIGURA 1: VARIÁVEIS QUE AFETAM O PREÇO DO CARBONO.



Fonte: Autor, com base em ELLERMAN *et al.* (2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Em termos de material, vasta pesquisa na Internet e leitura de inúmeros livros e *papers* acadêmicos sobre precificação do carbono foram utilizados pelo autor. Em se tratando de fontes de energia primária que afetam os preços do carbono, dados estatísticos da Agência Internacional de Energia (AIE) foram coletados. Os históricos de preços médios mensais das *commodities* mencionadas ao longo do texto foram retirados de bolsas de valores, da Agência Internacional de Energia (AIE), assim como de consultorias especializadas, todos mencionados nas referências bibliográficas e/ou como fontes nas tabelas e gráficos. E no que se

refere ao mercado futuro¹³, foram pesquisados os preços das EUAs com vencimentos (maturidades) em dezembro de 2012, dezembro de 2013 e dezembro de 2014, respectivamente, negociadas a partir do mês abril/2011, na Bolsa Francesa especializada BLUENEXT.

A modelagem do preço da tonelada de carbono é um assunto que tem levado diversos autores ao estudo desta complexa e intangível *commodity* ambiental. Sendo o maior mercado de carbono do mundo, o da Comunidade Europeia, foram levantados os valores que os certificados de carbono alcançaram no mercado à vista nas bolsas de valores europeias, a partir das primeiras negociações em setembro de 2005.

Segundo CHRISTOFOLETTI (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 mundo que o envolve. É procedimento teórico, pois consiste em compor uma abstração da realidade, em função das concepções de mundo, trabalhando no campo da abordagem teórica e ajustando-se e/ou orientando as experiências empíricas.

O mesmo autor afirma que 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. 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 enunciados sejam formulados de modo adequado para testes visando a ratificação ou refutação.

Sob este aspecto, o mesmo CHRISTOFOLETTI (1999) ensina que 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. Os modelos podem assumir a formulação qualitativa ou quantitativa, expressa em termos lógicos ou matemáticos, e referem-

¹³ O mercado futuro reflete as expectativas do mercado especializado em relação aos preços que determinada commodity poderá alcançar ao longo do tempo, em razão das diversas variáveis que interferem preço vigente. Neste mercado há investidores “comprados” e investidores “vendidos”, auferindo lucro aqueles que estiverem em posição favorável em relação ao preço do mercado à vista, na data de vencimento do título.

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.

Para CHRISTOFOLETTI (1999) o vocábulo “sistema” representa um conjunto organizado de elementos e interações entre esses elementos. Possui uso antigo e difuso no conhecimento científico (por exemplo: sistema solar). Todavia, a preocupação em se realizar abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa surgiu explicitamente na Biologia teórica, na década de 1930. Em função de usar da analogia com os sistemas biológicos, a abordagem foi adaptada em várias outras disciplinas.

De acordo com o mesmo autor, o conceito de sistemas foi introduzido por CHORLEY, em 1962, e vários aspectos dessa abordagem foram considerados por CHRISTOFOLETTI (1979), STRAHLER (1980), HUGGET (1985) e SCHEIDEGGER (1991).

CHORLEY e KENNEDY (1971) salientaram o aspecto conectivo do conjunto, formando uma unidade, escrevendo que *“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 que *“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 encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”*.

Quando se conceituam os fenômenos como sistemas, uma das principais atribuições e dificuldades está em identificar os elementos, seus atributos (variáveis) e suas relações, a fim de 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, CHRISTOFOLETTI (1999), afirma que se pode 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, a Dinâmica de Sistemas é uma modelagem desenvolvida por FORRESTER (1961) no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) com a finalidade de apoiar na solução de problemas complexos. Seu principal objetivo é possibilitar a compreensão e a discussão do comportamento de sistemas complexos, que estão em constante transformação. A compreensão dos padrões de comportamento do sistema como um todo parte da análise de inter-relações entre suas diversas partes, oferecendo uma mudança de perspectiva ao mostrar de que maneira a própria estrutura do sistema ocasiona seus sucessos e falhas.

Em Dinâmica de Sistemas duas formas de modelagem são empregadas para caracterizar um sistema: a abordagem *soft* e *hard*. A maioria dos profissionais reconhece que ambas as técnicas não são excludentes, uma vez que um modelo qualitativo pode ser utilizado na fase inicial de conceitualização e definição de um problema, enquanto um modelo quantitativo pode ser empregado nos estágios posteriores.


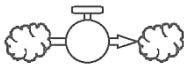


Uma das aplicações resultantes da modelagem *soft* da DS é a possibilidade de visualização de qualquer sistema humano, através da identificação das suas características estruturais, das relações causa-efeito-causa e das estruturas de *feedback*. Tal tarefa utiliza a técnica dos chamados diagramas de Enlace Causal (*causal loop diagrams*). Tais diagramas, de natureza qualitativa, são utilizados para produzir uma descrição dos principais elementos que causam o comportamento de um sistema, sendo particularmente úteis para o desenvolvimento

de um entendimento compartilhado da dinâmica relacional do sistema, ou mesmo para comunicar alguma descoberta.

Na perspectiva *hard* da DS, qualquer sistema pode ser descrito através de uma linguagem composta de quatro elementos: (i) **Estoques** (níveis), os quais representam o estado de um recurso, como, por exemplo, pedidos em carteira, trabalhadores, inventários, capital intelectual, ou quantidade de carbono acumulado na atmosfera (em ppm); (ii) **Fluxos**, que são atividades que produzem crescimento ou redução dos estoques; (iii) **Conversores**, os quais processam informações a respeito dos estoques e fluxos, ou representam fontes de alimentação externa ao sistema; e (iv) **Conectores**, que nada mais são do que links de informação que conectam Estoques, Fluxos e Conversores.

As representações gráficas de estoques, fluxos, conversores e conectores, são adotadas, internacionalmente, e assim se apresentam:

QUADRO 1 – INDICATIVOS GRÁFICOS UTILIZADOS NA PERSPECTIVA *HARD* DA DS.

Estoques	Fluxos	Conversores	Conectores
			

Fonte: FORRESTER (1961).

No modo de operação quantitativa da dinâmica de sistemas (DS) serão utilizadas as características estruturais do Diagrama de Enlace Causal para desenvolver um modelo de simulação do sistema proposto, utilizando-se a linguagem de fluxos e estoques. Os modelos de simulação podem ser usados para investigar e compreender por que certo sistema se comporta daquela maneira, permitindo desta forma encontrar melhores formas de operá-lo, uma vez que se pode conhecer de antemão as consequências que certos eventos desencadearão no sistema.

Para o desenvolvimento do modelo proposto, será utilizado o Ambiente de Modelagem Computacional *Vensim PLE*, uma poderosa ferramenta para identificar as interdependências entre processos e problemas. A criação de modelos por meio do *Vensim* permite a simulação de processos de negócios e cenários futuros, indicando os impactos de novos procedimentos ou políticas, possibilitando a prévia correção de resultados indesejáveis.

5. RESULTADOS ALCANÇADOS

Por meio de fontes oficiais e outras especializadas no mercado-alvo foram obtidos dados relevantes que irão propiciar ao aluno a conclusão deste trabalho acadêmico. Listam-se a seguir os materiais específicos coletados e devidamente compilados.

5.1. PREÇOS HISTÓRICOS DOS CERTIFICADOS DE CARBONO

5.1.1. European Union Allowances (EUAs)

As *European Union Allowances (EUAs)*, ou *Permissões da União Europeia*, são títulos negociáveis em bolsas de valores, nos mercados à vista (spot) e futuro, e foi o nome com o qual foram batizados os certificados de carbono (ou créditos de carbono) emitidos pelos países da Comunidade Europeia no âmbito da EU ETS, correspondendo cada EUA, por convenção, a uma tonelada de carbono equivalente (tCO₂e), segundo ELLERMAN *et al.* (2010).

A tabela 2 apresenta os preços de comercialização de (01) uma EUA no mercado à vista, cotada em Euros (€), registrados no período de setembro de 2005 a agosto de 2012.

TABELA 2 - PREÇOS MÉDIOS DAS EUAs NA BOLSA BLUENEXT (em €).

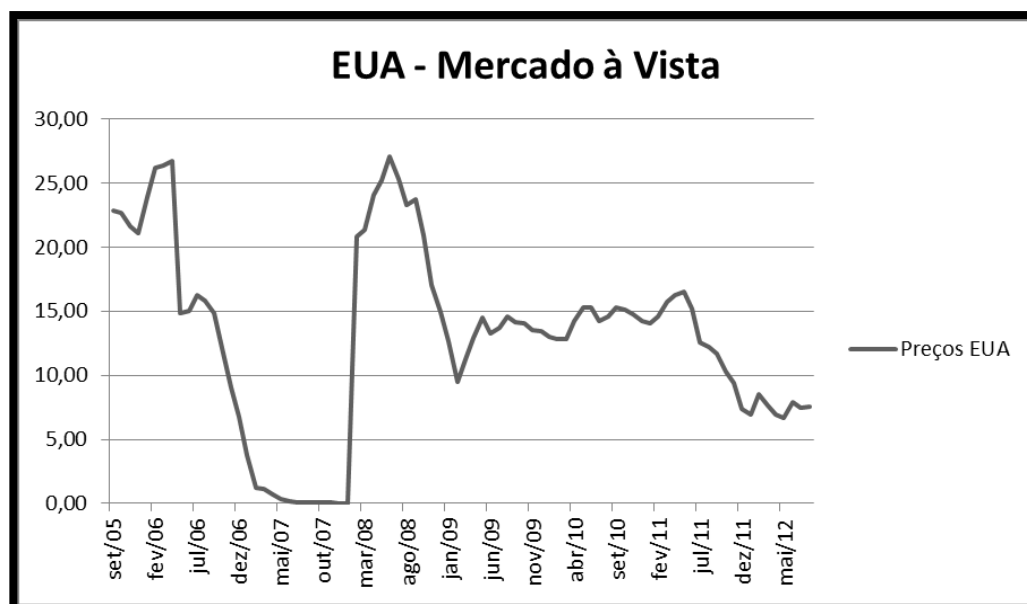
MÊS	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	-	23,92	3,80	0,02	12,68	12,98	14,10	6,90
Fev	-	26,19	1,23	20,82	9,46	12,87	14,60	8,50
Mar	-	26,37	1,10	21,33	11,23	12,87	15,70	7,63
Abr	-	26,71	0,69	24,11	12,92	14,24	16,30	6,94
Mai	-	14,81	0,35	25,24	14,51	15,30	16,50	6,64
Jun	-	14,99	0,18	27,03	13,25	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). Dados de 01/09/2012.

Tendo com base os dados da tabela precedente, e objetivando melhor visualização, o gráfico a seguir apresenta a evolução histórica das

allowances europeias (EUAs) negociadas no mercado à vista (spot), na Bolsa de Carbono BLUENEXT, sediada em Paris, França, a partir de setembro de 2005.

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DOS PREÇOS MÉDIOS DAS EUAs (2005 a 2012).



Fonte: Autor, com base na Tabela 1 deste trabalho. Dados obtidos em 01/09/2012.

No que tange ao mercado futuro, os preços alcançados pelas EUAs, para cada vencimento, são os constantes da tabela que segue.

TABELA 3 – PREÇOS DAS EUAs NO MERCADO FUTURO

Vencimento	Mês/Ano	Preço (€)	Vencimento	Mês/Ano	Preço (€)	Vencimento	Mês/Ano	Preço (€)
	Abr/2001	17,80		Abr/2001	19,13		Abr/2001	20,26
	Mai/2001	17,56		Mai/2001	18,88		Mai/2001	20,03
	Jun/2011	16,03		Jun/2011	17,22		Jun/2011	18,25
	Jul/2011	13,32		Jul/2011	14,29		Jul/2011	15,19
	Ago/2011	12,86		Ago/2011	13,69		Ago/2011	14,49
	Set/2011	12,30		Set/2011	13,15		Set/2011	13,92
	Out/2001	10,80		Out/2001	11,60		Out/2001	12,27
	Nov/2001	10,00		Nov/2001	10,60		Nov/2001	10,86
Dez/2012	Dez/2011	7,81	Dez/2013	Dez/2011	8,42	Dez/2014	Dez/2011	8,95
	Jan/2012	7,20		Jan/2012	7,80		Jan/2012	8,31
	Fev/2012	8,70		Fev/2012	9,40		Fev/2012	10,20
	Mar/2012	7,80		Mar/2012	8,40		Mar/2012	9,06
	Abr/2012	7,05		Abr/2012	7,53		Abr/2012	8,11
	Mai/2012	6,79		Mai/2012	7,21		Mai/2012	7,69
	Jun/2012	7,25		Jun/2012	7,69		Jun/2012	8,22
	Jul/2012	7,52		Jul/2012	7,98		Jul/2012	8,48
	Ago/2012	7,60		Ago/2012	8,05		Ago/2012	8,56

Fonte: ICE – INTERCONTINENTAL EXCHANGE (2012), com adaptações do autor.

5.1.2. Certificate of Emission Reductions (CER)

Os “*Certificates of Emissions Reduction*” (CERs), ou, em português, Redução Certificada de Emissões (RCEs), são títulos oriundos especificamente do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de QUIOTO (1997), e são resultantes de títulos vinculados a projetos de redução de GEEs desenvolvidos em países do chamado Não-Anexo I (países em desenvolvimento).

Do mesmo modo que as EUA, cada CER corresponde a 01 (uma) tonelada de carbono equivalente (tCO₂e). As CERs são também negociadas nas bolsas europeias, tanto no mercado spot (à vista) quanto no mercado futuro, embora a comercialização das CERs tenha se dado apenas a partir de março de 2007.

Os valores alcançados por esses créditos de carbono são os constantes da tabela apresentada em seguida.

TABELA 4 - PREÇOS MÉDIOS DAS CERs NA BOLSA BLUENEXT
(em €)

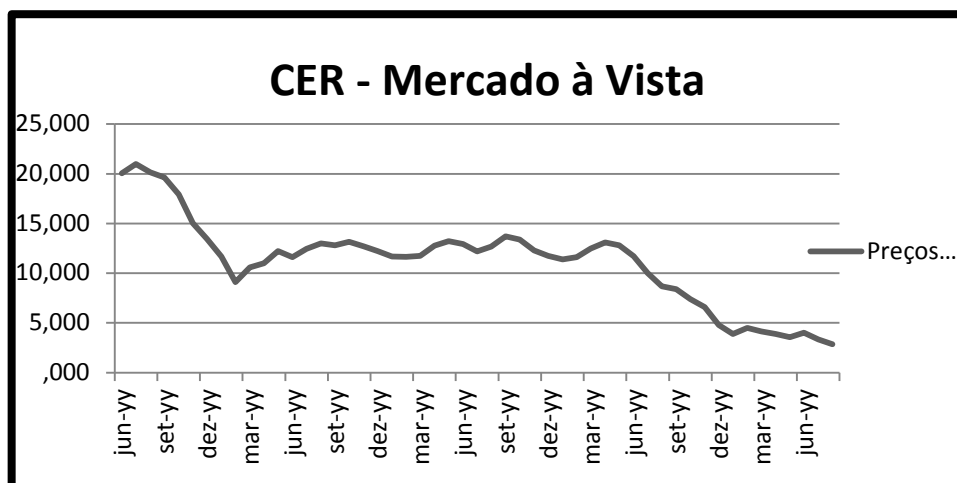
Mês	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	-	16,52	11,67	11,68	11,40	3,90
Fev	-	15,21	9,11	11,66	11,60	4,50
Mar	13,68	15,83	10,59	11,74	12,50	4,20
Abr	13,59	16,04	11,02	12,79	13,10	3,87
Mai	16,10	17,08	12,23	13,22	12,80	3,57
Jun	15,38	20,05	11,61	12,95	11,70	4,02
Jul	16,29	21,00	12,45	12,20	10,00	3,34
Ago	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). Dados de 30/08/2012.

O gráfico que se segue, construído com base na tabela antecedente, reflete a evolução dos preços alcançados pelos certificados de carbono (CERs) emitidos pela Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (CQNUMC), com base em projetos de redução de emissões de GEE desenvolvidos

no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de QUIOTO (1997), por países não listados no Anexo I (países em desenvolvimento).

GRÁFICO 2 – EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DAS CERs (2007 A 2012)¹⁴.



Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris). Dados de 30/08/2012.

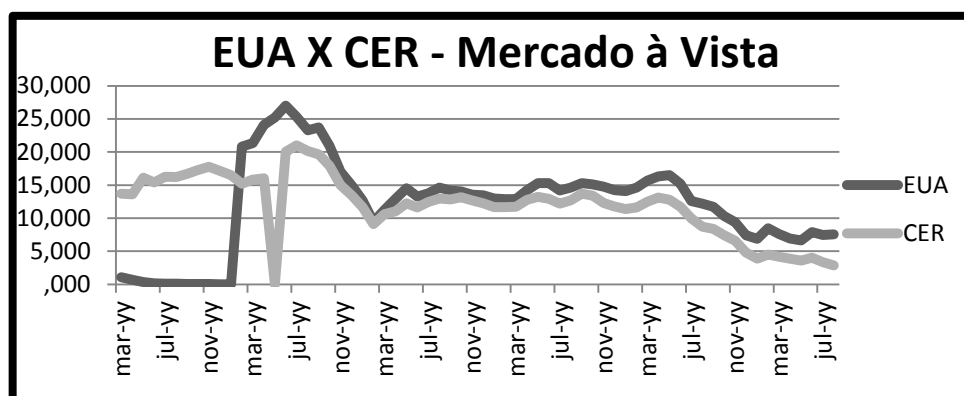
5.1.3. Preços EUA X Preços CER (mercado à vista)

Por serem certificados negociados no mercado financeiro internacional, e ambas consideradas popularmente como “créditos de carbono”, esperava-se que com as regras vigentes na data dos respectivos lançamentos no mercado, que EUA e CER mantivessem certa paridade (preços por tonelada bastante aproximados), principalmente por conta da segunda (CER) poder ser negociada com países desenvolvidos sem qualquer limitação de quantidade, principalmente durante a primeira fase de implantação do regime *cap-and-trade* na EU ETS, que foi de setembro de 2005 até janeiro de 2008 (ELLERMAN *at al.*, 2010).

O gráfico 3 apresentado em seguida, demonstra que as previsões não se confirmaram, sempre sendo registrado em bolsa um valor superior para as EUAs, com exceção do período bastante próximo ao término do primeiro período de compromissos de Quioto (Dez/2007 a Fev/2008).

¹⁴ Os preços das CERs, entre março de 2007 até novembro de 2007 referem-se a preços de venda no mercado de balcão. Somente a partir de dezembro de 2007, as CERs passaram a ser negociadas na Bolsa BLUENEXT (Paris).

GRÁFICO 3 - EUA X CER (MERCADO À VISTA).



Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris). Dados de 30/08/2012.

5.1.4. Emission Reduction Units (ERUs)

As *Emission 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 qualificados como Países do Anexo I, nos termos de QUIOTO (1997). A exemplo das EUAs e das CERs, uma unidade de ERU corresponde a 01 (uma) tonelada de carbono equivalente (tCO₂e) 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 eles no mercado à vista estão listados na tabela que se segue:

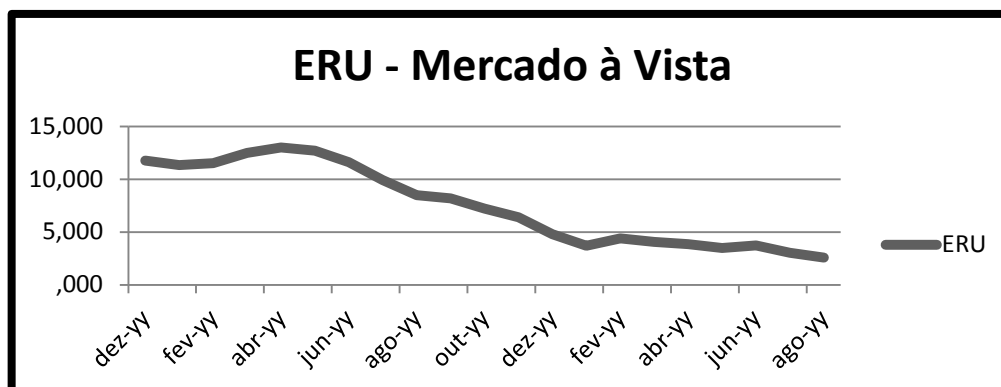
TABELA 5 – PREÇOS MÉDIOS DE UMA ERU NA BOLSA BLUENEXT (em €)
(DEZ/2007 A AGO/2012)

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). Dados de 30/08/2012.

No gráfico 4 pode ser observado que após ter atingido um preço máximo, histórico, em abril de 2011 (€13,00), a *commodity* representativa de projetos de Implementação Conjunta (IC) só se fez decair de preços, no mercado à vista, fechando o mês de agosto de 2012 com sua menor cotação desde o lançamento na BLUENEXT, em dezembro de 2010 (€2,57).

GRÁFICO 4 - EVOLUÇÃO DOS PREÇOS MÉDIOS DAS ERUs.



Fonte: Bolsa BLUENEXT (Paris). Dados de 30/08/2012.

5.2. MERCADO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

A figura 1 da Seção 3.4 é encabeçada por três combustíveis fósseis largamente utilizados pela humanidade para geração de energia ao longo dos tempos, e a energia é a base que serve de verdadeiro instrumento para o desenvolvimento econômico das sociedades modernas. O petróleo, o carvão, e o gás natural, são *commodities* que norteiam diretamente os preços dos certificados de carbono, assim como são também os *drivers* que conduzem o desenvolvimento da economia mundial, além de servirem como verdadeiros indicadores dos níveis das atividades econômicas no planeta. Este texto irá apresentar, em seguida, dados estatísticos extraídos da AIE (2011).

5.2.1. Energia Primária

Segundo a AIE (2011), a oferta de energia primária por combustível, no 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”.

A tabela que se segue apresenta a distribuição da oferta de energia primária no planeta, por fonte, tendo como ano base 2009.

TABELA 6 - 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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

AIE (2011) disponibiliza dados da produção de petróleo cru, carvão mineral, e gás natural, assim como de outras fontes de geração de energia, por regiões geopolíticas, listando os principais produtores, exportadores e importadores de cada uma das principais fontes primárias de energia. Todas elas, de forma direta e indireta, no curto, médio e longo prazos, que afetam os preços dos certificados de carbono no mercado.

5.2.2. Petróleo

No que se refere ao petróleo cru, tendo como ano base 2010, a tabela que se segue apresenta os dados relativos a esta *commodity*, com a distribuição da produção de 3.973 Mt (milhões de toneladas) pelas respectivas regiões geopolíticas do mundo e de determinados países:

TABELA 7 - 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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

A Federação Russa, segundo a AIE, 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.

TABELA 8 - PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES, EXPORTADORES E IMPORTADORES DE PETRÓLEO.

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: AIE (2010), com adaptações feitas pelo autor.

* Dados de 2010. ** Dados de 2009.

5.2.2.1. Preços médios do petróleo no mercado internacional.

Nos últimos sete anos, os preços do barril de petróleo têm oscilado de forma bem diferente no mercado internacional, do que oscilava nas décadas de 1970, 1980, 1990 e início do Século XXI. Afora as práticas especulativas causadas pelos grandes *dealers* do mercado - os países integrantes da OPEP - atualmente sem a força política de outrora, e ainda, pelo esforço concentrado de alguns países desenvolvidos em reduzir as suas emissões de GEE através de investimentos maciços em eficiência energética, taxaçoão do carbono emitido, dentre outras providências, inclusive com menores importações de petróleo, pode-se afirmar pela evolução dos preços desta *commodity*, que tal preço vem se mantendo ao nível dos índices de preços computados pelas maiores economias do planeta.

Após o pico registrado em junho de 2008 (€85,55), meses antes do início da recessão na América 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.

TABELA 9 - PREÇOS DO PETRÓLEO BRENT 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	

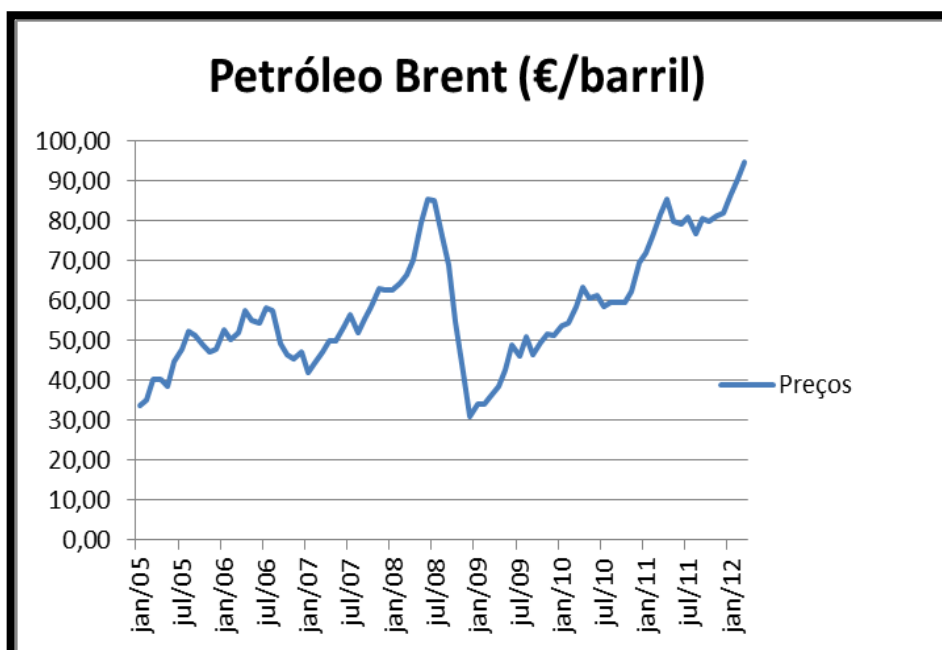
Fonte: AIE (Set/2012), com adaptações feitas pelo autor.

Cabe registrar que em junho de 2008, quando o barril do petróleo atingiu a sua cotação máxima naquele ano (€85,55), o preço médio de uma EUA e de uma CER vendidas no mercado à vista da Bolsa BLUENEXT entre maio e julho, conforme se pode constatar nas tabelas precedentes, também atingiram seus preços históricos máximos de comercialização €27,03 (EUA) e €21,00 (CER), não alcançados até os últimos dados coletados neste estudo (Ago/2012).

Atualmente, outras são as condições políticas e estruturais que impedem a evolução dos preços das EUAs e das CERs de acompanharem a evolução dos preços do barril de petróleo e de outros combustíveis fósseis, inclusive, dentre outros, os fracassos que as negociações sobre as mudanças climáticas representam em termos de redução das emissões de GEE para a atmosfera.

A seguir será apresentada graficamente a evolução dos preços do petróleo registrados na tabela antecedente.

GRÁFICO 5 - EVOLUÇÃO DE PREÇOS DO PETRÓLEO BRENT NO MERCADO INTERNACIONAL (€/barril)



Fonte: Autor, com base na tabela anterior.

5.2.3. Carvão Mineral

No que diz respeito ao carvão mineral, foram coletados junto à AIE os dados constantes da tabela apresentada em seguida:

TABELA 10 - 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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

É notável a produção de carvão da China, sendo este país responsável por mais metade da produção mundial, e como será mostrado nas páginas seguintes, o país é extremamente dependente do carvão para a produção de energia. Além do mais, embora consuma internamente todo o carvão que produz,

a China ainda é o segundo país maior importador de carvão do mundo, como se pode observar na tabela 11 apresentada a seguir.

Segundo o Instituto Federal Alemão para Geociências e Recursos Naturais, do inglês, “*German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources*” (BGR, 2012), ainda existem na natureza 1004 bilhões de toneladas em reservas de carvão mineral em condições de extração, número que equivale a 130 anos da produção global registrada no ano de 2011, ou seja, podemos concluir que apesar de ser um recurso natural considerado não renovável, ainda por muitos anos o carvão continuará sendo uma *commodity* bastante atraente para a produção industrial, assim como para uso com fins de aquecimento em países onde as temperaturas ambientes chegam a números bastante baixos, principalmente no inverno.

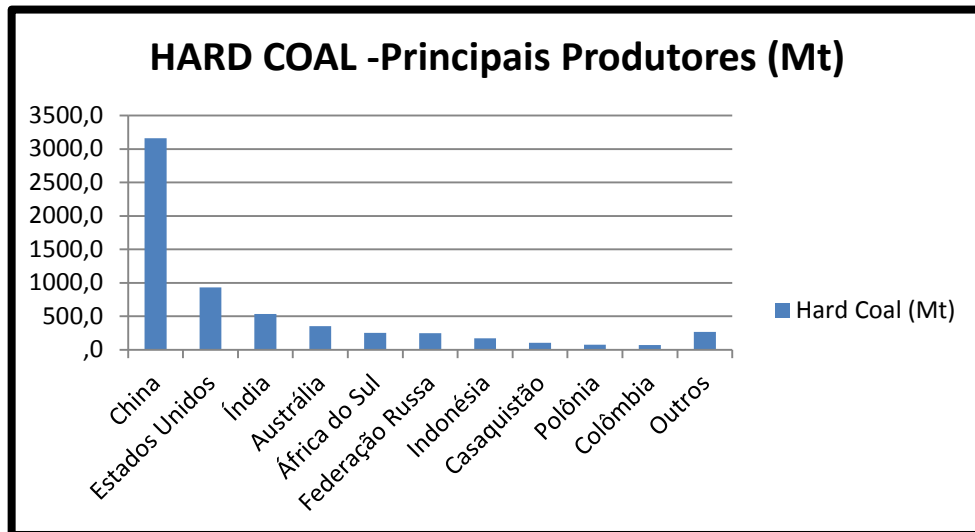
Como principais países produtores, exportadores e importadores de carvão mineral ao redor do mundo, a AIE (2011) disponibiliza as informações constantes na tabela apresentada a seguir.

TABELA 11 - PRINCIPAIS PAÍSES 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

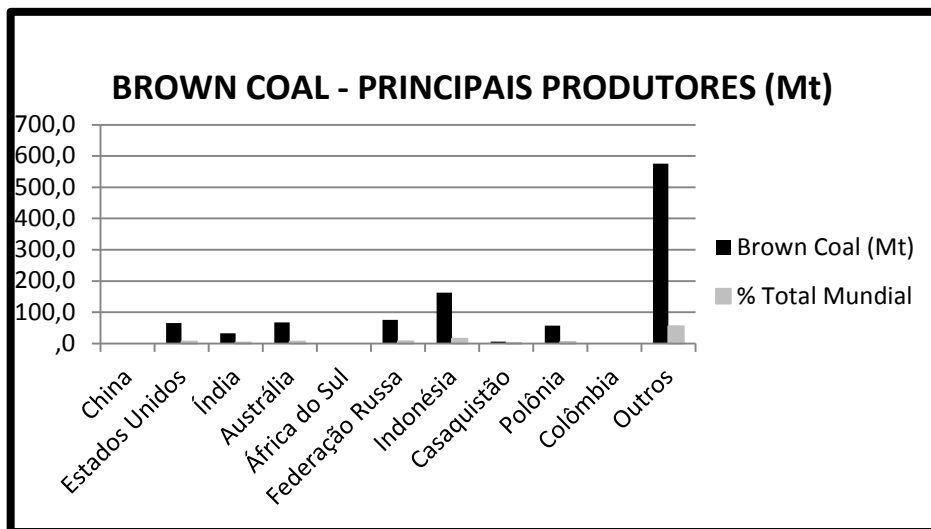
Fonte: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

GRÁFICO 6 – PRINCIPAIS PRODUTORES DE CARVÃO DURO (P/COQUE)



Fonte: Autor, com base em AIE (2011).

GRÁFICO 7 – PRINCIPAIS PRODUTORES DE CARVÃO MARROM (P/AQUECIMENTO)



Fonte: Autor, com base em AIE (2011).

5.2.3.1. Preços médios do carvão no mercado internacional.

Embora a Austrália não seja nem a maior produtora, e muito menos a maior importadora de carvão, é o carvão australiano largamente utilizado para a produção de coque pelas siderúrgicas, e o que domina o mercado mundial. Por ser o combustível fóssil mais barato entre seus pares, e por ser também o combustível dominante nas matrizes energéticas de diversos países, como a China, Estados Unidos, Japão e Alemanha, além de diversos outros do leste europeu, o carvão

australiano tem larga procura, embora dentre os combustíveis fósseis, ser aquele que notoriamente causa as maiores emissões de GEE para a atmosfera, desde a sua extração no solo até quando é utilizado como fonte primária nos processos industriais.

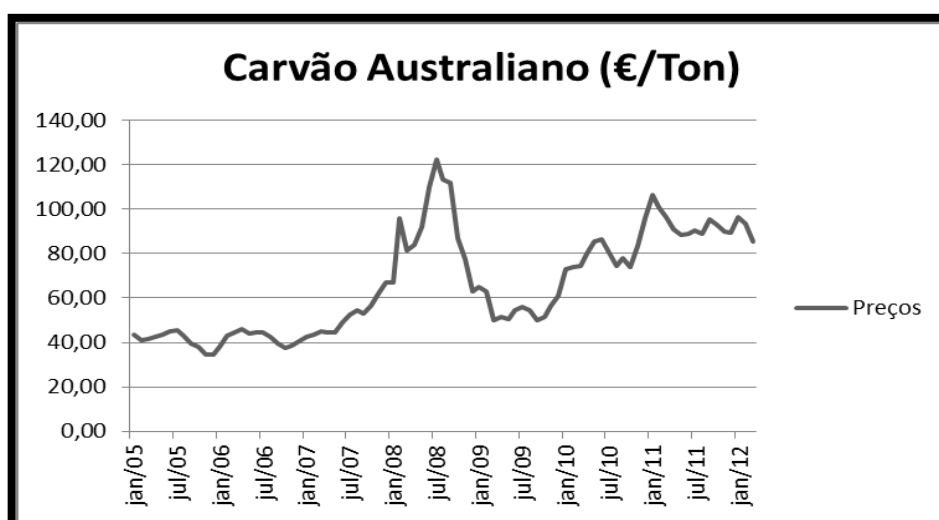
Portanto, os preços do carvão mineral evoluem acompanhando o próprio desempenho das maiores economias do planeta, ainda extremamente carbono-intensivas, como se pode constatar na tabela e no gráfico que a seguir serão apresentados, onde o ápice de preços desta *commodity* foi atingido justamente na fase anterior ao início da recessão na Europa - período de maio a setembro de 2008 - refletindo posteriormente a queda do nível das atividades econômicas na Europa e no Japão durante todo o ano de 2009, a lenta recuperação iniciada em janeiro de 2010, pequeno novo período de alta de preços em 2011 e primeiro trimestre de 2012.

TABELA 12 - 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: Banco Mundial (2012).

GRÁFICO 8 - PREÇOS DO CARVÃO AUSTRALIANO (2005 – 2012).



Fonte: Autor, com base em Banco Mundial (2012).

5.2.4. Gás Natural

Dentre os combustíveis fósseis mais utilizados para a geração de calor e de energia elétrica, o gás natural é considerado como sendo aquele que menos emite GEE para a atmosfera. Mudanças de tecnologias nas indústrias, trocando-se o carvão ou o óleo combustível como fonte de geração de energia, produzirão a emissão de menos gases estufa para a atmosfera. Pode-se observar na tabela abaixo que países da OECD lideram a produção mundial de gás natural, indicando o avanço do uso desta *commodity* em substituição paulatina, pelas indústrias, de combustíveis fósseis mais poluentes.

TABELA 13 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE GÁS NATURAL (2010).

Região	%	Total por Região (bcm) ¹⁵
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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

¹⁵ bcm = billion cubic meters = bilhões de metros cúbicos.

Os principais países produtores, exportadores e importadores de gás natural no mundo, segundo a AIE (2011):

TABELA 14 - PRINCIPAIS 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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

5.2.4.1. Preços médios do gás natural no mercado internacional.

O gás natural russo é o mais utilizado pelos países europeus para fins de aquecimento de ambientes, e em menor parcela para cozimento de alimentos. É fornecido a quase toda a Europa por meio de dutos subterrâneos, e seu preço depende em muito das temperaturas ambientes registradas nos países onde ele é fornecido, particularmente por ocasião do inverno europeu, ou seja, quanto menor a temperatura ambiente, mais se busca aquecimento, e, portanto, maior o consumo de gás natural.

Como a Federação Russa praticamente exerce o monopólio deste mercado na Europa, o preço do gás natural por muitas vezes é utilizado como fator de pressão política pelo governo russo em diversas oportunidades, aumentando ou reduzindo os preços do gás natural, conforme suas necessidades.

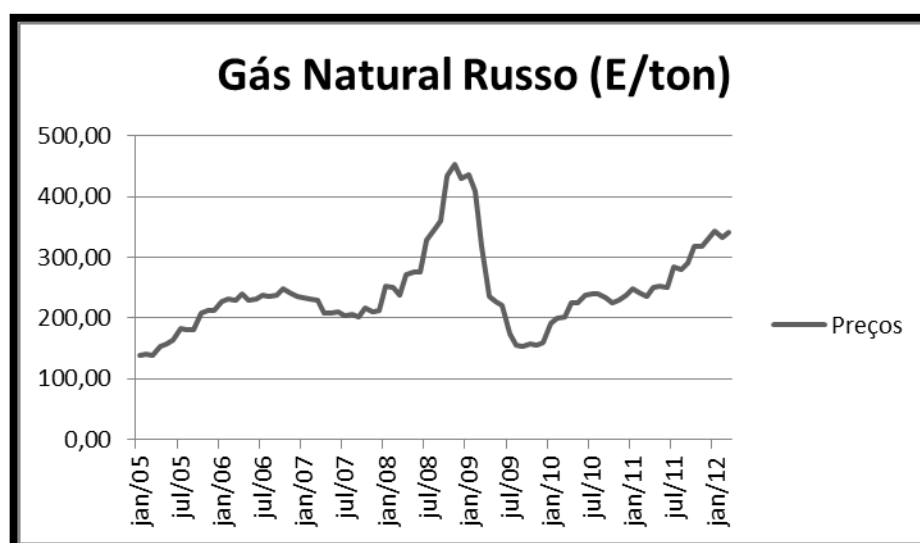
A tabela 15 apresenta os preços históricos do gás natural russo no período de janeiro de 2005 a março de 2012.

TABELA 15 - PREÇOS DO GÁS NATURAL NO MERCADO INTERNACIONAL
(€/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 – INTERCONTINENTAL EXCHANGE (2012).

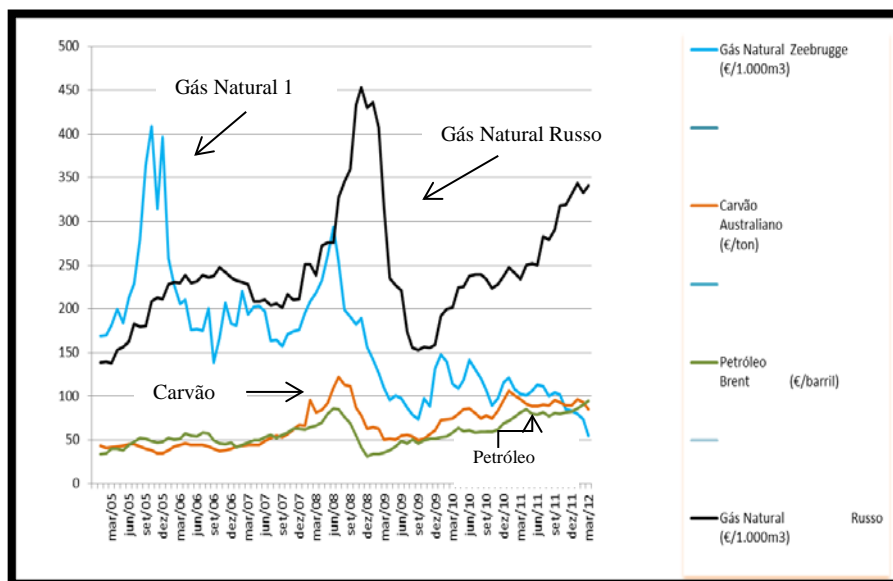
GRÁFICO 9 - PREÇOS DO GÁS NATURAL NA EUROPA



Fonte: Autor, com base os dados de ICE (2012).

Registrados neste texto os preços históricos do petróleo, do carvão, e do gás natural, será apresentado a seguir um gráfico da evolução dos respectivos preços para fins de comparação.

GRÁFICO 10: COMPARATIVO DE PREÇOS DE MERCADO
(PETRÓLEO, CARVÃO, GÁS NATURAL).



Fonte: Autor, com base os dados de ICE (2012).

5.2.5. Energia Hidráulica

A transformação da energia hidráulica em eletricidade, ou seja, a produção de energia elétrica por meio de usinas hidrelétricas construídas nos leitos de rios sejam elas de grande, médio ou de pequeno porte, é uma opção que ao redor do mundo está quase que esgotada, uma vez que existe pouca disponibilidade hídrica que permita a construção de novas usinas, embora seja esta geração de energia, juntamente com a geração nuclear, a que menos emite GEE no processo de produção de eletricidade propriamente dito.

Dados de 2009, extraídos da AIE (2011), são apresentados por regiões geopolíticas do planeta, conforme a tabela que segue:

TABELA 16 - PRODUÇÃO DE HIDROELETRICIDADE NO MUNDO (2009).

Região	%	Total por Região (TWh)
África	3,0	100
América Latina	20,1	670
Ásia (sem a China)	7,4	246
China	18,5	616
Não OECD-Europa e Eurásia	8,9	296
OECD	41,7	1.401
Total	100	3.329

Fonte: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

Os países líderes na produção de eletricidade por meio de usinas hidrelétricas, além aqueles com as maiores capacidades instaladas por país, assim como a parcela que a geração hidráulica de eletricidade detém na matriz energética de cada um, são apresentados a seguir:

TABELA 17 – LÍDERES NA GERAÇÃO DE HIDROELETRICIDADE E EM CAPACIDADE INSTALADA (2009).

Maiores Produtores	TWh	% Total Mundial	Capacidade Instalada	GW	Dez maiores produtores mundiais	% Hidro no total da geração elétrica
China	616	18,5	China	168	Noruega	95,7
Brasil	391	11,7	Estados Unidos	100	Brasil	83,8
Canadá	364	10,9	Brasil	78	Venezuela	72,8
Estados Unidos	298	9,0	Canadá	75	Canadá	60,3
Federação Russa	176	5,3	Japão	47	Suécia	48,3
Noruega	127	3,8	Federação Russa	47	Federação Russa	17,8
Índia	107	3,2	Índia	37	China	16,7
Venezuela	90	2,7	Noruega	30	Índia	11,9
Japão	82	2,5	França	25	Japão	7,8
Suécia	66	2,0	Itália	21	Estados Unidos	7,1
Resto do Mundo	1.012	30,4	Resto do Mundo	324	Resto do Mundo	13,9
Mundo	3.329	100,0	Total	952	Total	16,5

Fonte: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

5.2.6. Energia Nuclear

A geração de eletricidade via usina nuclear, embora ofereça riscos ao meio ambiente, principalmente em casos de acidentes provocados por eventos extremos da natureza, como se viu, por exemplo, em Fukujima, Japão, recentemente, quando um tsunami seguido de um terremoto provocou danos de grande monta às suas instalações e um vazamento de radiação de alta monta em toda a região de seu entorno, possui inúmeros defensores no meio acadêmico, uma vez que produz energia elétrica com absoluta segurança, sem provocar emissões de CO₂ para a atmosfera. É largamente empregada na produção de energia elétrica em muitos países desenvolvidos, uma vez que não necessita utilizar qualquer tipo de combustível fóssil para a produção, e, portanto, com emissões zero, assim como é uma das poucas alternativas para países que não dispõem de maiores meios para a

produção hidroelétrica ou que tenha dependência de combustíveis fósseis importados, com é o caso da França, por exemplo.

O panorama geral da produção de eletricidade por meio nuclear, no mundo, é apresentado a seguir:

TABELA 18 - PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE POR MEIO DA FISSÃO NUCLEAR

Região	%	Total por Região (TWh)
OECD	83,2	2.244
Não OECD-Europa e Eurásia	10,6	286
China	2,6	70
Ásia (sem a China)	2,3	62
Outros	1,3	35
Total	100	2.697

Fonte: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

Os países líderes na produção de eletricidade por meio de usinas nucleares, aqueles com as maiores capacidades instaladas, assim como a parcela que a geração de eletricidade detida por suas matrizes energéticas serão listadas em seguida:

TABELA 19 - LÍDERES NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE VIA FISSÃO NUCLEAR (2009)

Maiores Produtores	TWh	% Total Mundial	Capacidade Instalada	GW	Dez maiores produtores mundiais	% Nuclear no total da geração elétrica doméstica
Estados Unidos	830	30,8	Estados Unidos	101	França	76,2
França	410	15,2	França	63	Ucrânia	48,0
Japão	280	10,4	Japão	49	Coréia	32,7
Federação Russa	164	6,1	Federação Russa	22	Japão	26,9
Coréia	148	5,5	Alemanha	20	Alemanha	23,0
Alemanha	135	5,0	Coréia	18	Estados Unidos	19,9
Canadá	90	3,3	Canadá	13	Reino Unido	18,6
Ucrânia	83	3,1	Ucrânia	13	Federação Russa	16,5
China	70	2,6	Reino Unido	11	Canadá	15,0
Reino Unido	69	2,6	Suécia	9	China	1,9
Resto do Mundo	418	15,4	Resto do Mundo	52	Resto do Mundo	12,7
Mundo	2.697	100,0	Total	371	Total	13,5

Fonte: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

5.3. PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE

Dado que se extrai de AIE (2011) é a produção mundial de energia por fonte. Pode-se notar que embora seja o combustível fóssil mais poluente, o carvão mineral lidera como fonte a produção de eletricidade, principalmente por conta da China, e pelo fato de ser um combustível abundante no planeta, embora não renovável em nossa escala de tempo, tendo reservas estimadas na natureza, segundo BGR (2012), para mais 130 anos, se essas reservas forem comparadas com a produção global que foi registrada em 2011.

TABELA 20 - 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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

A produção de energia elétrica, por fonte, apresentada na tabela precedente, tem os seguintes países como líderes desta produção, segundo AIE (2011), com base em dados de 2009:

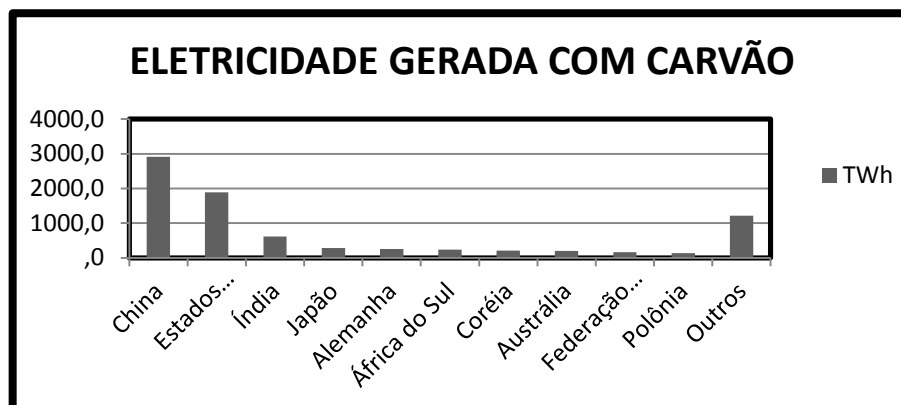
TABELA 21 - MAIORES PRODUTORES DE ELETRICIDADE, POR FONTE (2009).

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: AIE (2011), com adaptações feitas pelo autor.

A eletricidade gerada com o uso do carvão mineral, com base nos dados da tabela precedente, pode também ser representada pelo gráfico apresentado em seguida.

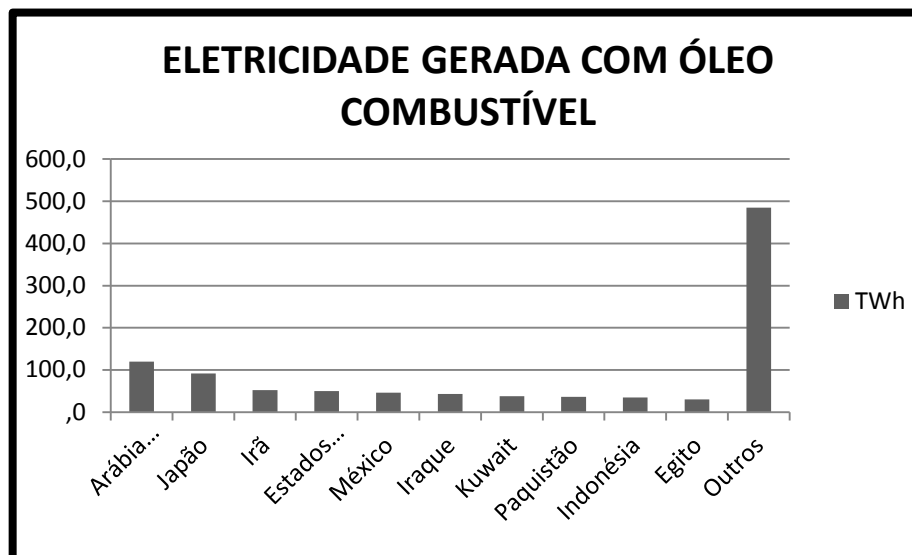
GRÁFICO 11 - ENERGIA ELÉTRICA GERADA POR CARVÃO (MUNDO)



Fonte: Autor, com base em AIE (2011).

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

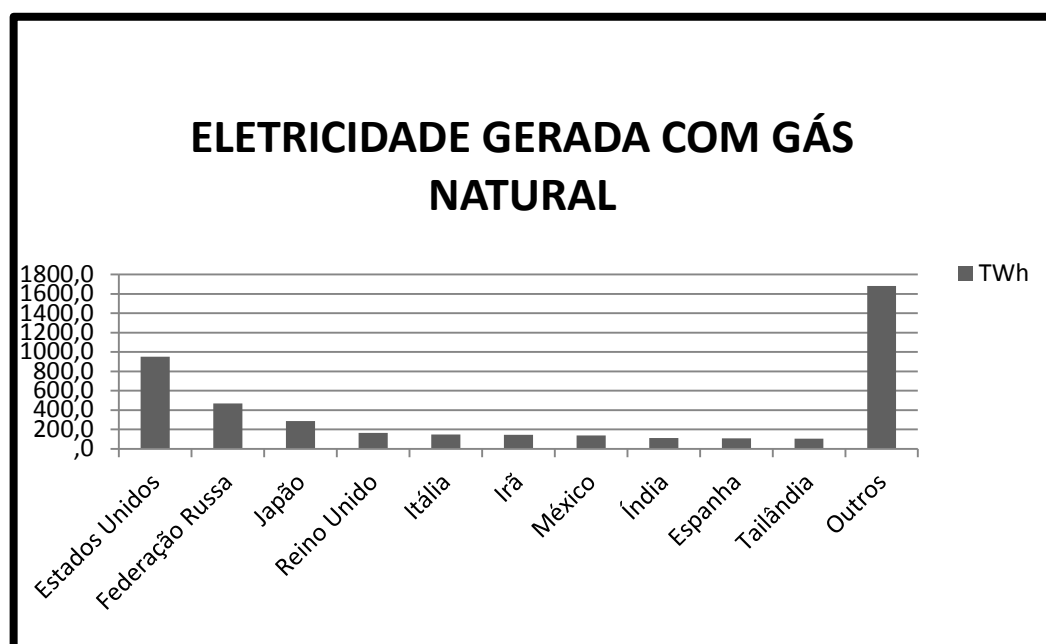
GRÁFICO 12 - ENERGIA ELÉTRICA GERADA COM ÓLEO COMBUSTÍVEL



Fonte: Autor, com base em AIE (2011).

Quanto à geração de eletricidade com gás natural, os dados da última tabela apresentada tem a aparência do gráfico apresentado em seguida.

GRÁFICO 13 – ENERGIA ELÉTRICA GERADA COM GÁS NATURAL.



Fonte: Autor, com base em AIE (2011).

5.4. INDICADORES DO NÍVEL DE ATIVIDADE ECONÔMICA NA EUROPA

O nível das atividades econômicas é uma das variáveis que afetam o preço 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 encontra-se em franca recessão, com diversos países que integram a 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 prazos, com bancos de grande porte enfrentando dificuldades em face do grande número de saques por parte de seus clientes. Se para a economia os números vão de mal a pior, o meio ambiente agradece, uma vez que menores índices de emissões serão certamente registrados, possibilitando a inúmeras empresas carbono-intensivas a cumprirem as suas metas de emissão traçadas pelos respectivos órgãos reguladores, e naquilo que é a razão de ser deste trabalho, o preço dos certificados de carbono nas bolsas europeias, é uma consequência frustrante para os investidores deste mercado especializado, uma vez que se registra um enorme

declínio na procura por este título financeiro, e, por via de consequência, os preços baixíssimos com os quais estão sendo comercializados os créditos de carbono atualmente no mercado especializado.

Por outro lado, por exemplo, uma enchente na Austrália, maior exportadora de carvão mineral do mundo, que venha a inundar suas minas de carvão por longo tempo, ou o mesmo ocorrendo na China, ou ainda, uma decisão positiva em fóruns internacionais sobre um novo Protocolo para substituir Quioto, podem afetar, no primeiro caso, o preço do carbono no curto prazo nas bolsas europeias (mercado à vista), ou, no segundo, o preço do carbono no mercado futuro. Um país grande emissor de CO₂, como a China, por exemplo, que acabou de criar bolsas regionais de carbono, se tiver sucesso nesta empreitada, reconhecido internacionalmente, pode alavancar o preço da tonelada de carbono em todo o mundo. A presente recessão na Europa, produzindo como é esperado, menos emissões por conta da frenagem na produção de bens e na prestação de serviços, faz com que as emissões de carbono para a atmosfera se reduzam, e, por conseguinte, as empresas carbono-intensivas da Europa, mesmo que obrigadas pela situação recessiva, não necessitem adquirir de terceiros, certificados (ou permissões) de carbono para cumprirem suas metas impostas por seus governos. Isto faz com que o preço do carbono caia, sendo a recíproca de toda a situação, verdadeira, ou seja, sendo retomado o ritmo da economia europeia no esquema “*business as usual*”, o preço da *commodity* tende a subir.

Da mesma forma, leilões de carbono realizados de tempos em tempos, principalmente pelos governos da Grã-Bretanha e da Alemanha, têm a finalidade de fixar e orientar os mercados europeus sobre o verdadeiro preço sombra do carbono, fazendo com que os negócios nos mercados futuros das bolsas europeias se alavanquem com base nos preços mínimos de venda, fixados por estes dois governos.

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, os níveis das atividades econômicas dos vinte e sete países que integram a zona do Euro, a contar de março de 2005, tendo como base os anos 2000 e 2005.

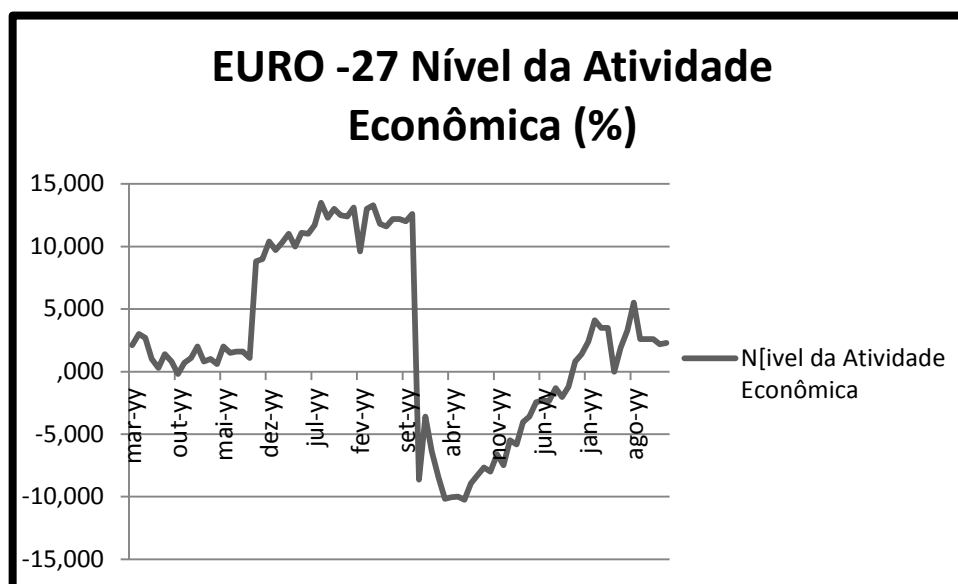
TABELA 22 - INDICADORES DA ATIVIDADE ECONÔMICA NA ZONA DO EURO (2000 E 2005*).

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 (2011).

* OBS: De Março/2005 a Julho/2007, o ano base é 2000. A partir de Agosto/2007 o ano base é 2005.

GRÁFICO 14 - INDICADORES DA ATIVIDADE ECONÔMICA – EUROPA 27.



Fonte: CARBONE (2011).

Pelo gráfico antecedente, podemos visualizar os níveis da atividade econômica registrados em conjunto pelos 27 países da zona do Euro, a partir de março de 2005. Com crescimento abaixo de 5% em março daquele ano, o nível de atividade econômica atingiu o seu auge entre agosto de 2007 até meados de

setembro de 2008, quando o escândalo das subprimes americanas e o consequente pedido de concordata da Lehman Brothers já comentado neste TCC desencadeou a crise econômica que se prolonga até os dias de hoje nas maiores economias do planeta.

Por sua vez, a quinta Comunicação Nacional de Emissões de GEE, enviada para a CQNUMC pelos países integrantes do Anexo I do Protocolo de Quioto¹⁶, em janeiro de 2011, e divulgada a sua compilação para o público em geral em 20/05/2011, inclui dados sobre a eficiência energética alcançada pelos mesmos no período de 1990 a 2008.

Estes dados correspondem ao que se denomina, popularmente, de “*pegada de carbono*” de cada país, no período, além de incluir dados oficiais sobre as respectivas populações, produto interno bruto, total da oferta de energia primária, emissões *per capita*, emissões percentuais pelo PIB, dentre outras informações relevantes.

TABELA 23 – DADOS SOCIOAMBIENTAIS EXTRAÍDOS DAS COMUNICAÇÕES NACIONAIS (1990)

País	População (milhões)	PIB (USD de 2000) (Usando PPP)	OEP ¹⁷ (Mtoe)	OEP/PIB (toe/1000 USD)	Emissões per capita	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: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/sbi/eng/inf01.pdf>. Acesso em 20/05/2012.

¹⁶ A compilação das respectivas Comunicações Nacionais está disponibilizada pela CQNUMC em: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/sbi/eng/inf01.pdf>. Acesso em 20/05/2012.

¹⁷ OEP = Oferta de Energia Primária.

TABELA 24 – DADOS SOCIOAMBIENTAIS EXTRAÍDOS DAS COMUNICAÇÕES NACIONAIS (2008)

País	População (milhões)	PIB (USD de 2000) (Usando PPP)	OEP (Mtoe)	OEP/PIB (toe/1000 USD)	Emissões per capita	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: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/sbi/eng/inf01.pdf>. Acesso em 20/05/2012.

Comparando-se as duas tabelas anteriores, se pode 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.

Se analisarmos os dados dos Estados Unidos¹⁸, veremos que em dezoito anos o PIB americano cresceu 66,2%, assim como que a sua oferta de energia primária cresceu 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 (tCO₂e).

Poderíamos continuar fazendo o mesmo tipo de análise para todos os países listados nas duas tabelas precedentes, todavia vamos nos concentrar na chamada EU-27¹⁹, cujos créditos de carbono do mercado formal (EUAs, CERs e

¹⁸ Embora não tenha ratificado o Protocolo de Quioto, os EUA cumpre o calendário estabelecido pela CQNUMC, enviando nos prazos acordados a sua Comunicação Nacional de Emissões de GEE.

¹⁹ Grupo de vinte e sete países da Europa que integram, o que se chama de “Zona do Euro”, ou seja, países que utilizam o Euro como moeda.

ERUs) são negociados dentro do sistema europeu de negociação destes créditos, a *European Union Emission Trading Scheme* (EU ETS), ou, em português, o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia.

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, embora 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 que em 2008 estava em início na Europa, por conta da crise das *subprimes* americanas.

5.5. CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE ENLACE CAUSAL

Conforme declarado na Seção 4 deste texto, será utilizada a linguagem do pensamento sistêmico desenvolvida por FORRESTER (1961) para o desenvolvimento do modelo pretendido.

A utilização da Dinâmica de Sistemas (DS) para abordagem do problema seguiu uma sequência de etapas que permite a escolha de ações que vão desde a definição e compreensão do problema, até a tomada de decisões quanto a alterações que o modelo gerado tenha indicado como necessárias, em processo sequencial, como segue:

- ✓ Etapa 1: Identificação das variáveis que direta e indiretamente integrarão o modelo que será desenvolvido.
- ✓ Etapa 2: Fazer o inter-relacionamento *pari-passu* entre as variáveis.
- ✓ Etapa 3: Conclusão do diagrama.

A utilização da DS na modelagem dos preços dos certificados de carbono permitirá identificar a relevância de cada variável ou conjunto de variáveis, de tal forma que a tomada de decisões quanto a mudanças poderá revestir-se de maior qualidade.

Antes que possamos iniciar as três etapas listadas anteriormente, se faz necessário definir os diversos conceitos de variáveis em modelos de simulação.

Variáveis são utilizadas nos modelos de simulação para relacionar um componente com outro.

Tais variáveis podem ser classificadas como variáveis exógenas, variáveis de estado, e variáveis endógenas. As variáveis exógenas são as variáveis independentes ou de entrada do modelo. São consideradas como tendo sido previamente determinadas e fornecidas, independentemente do sistema do qual está sendo construído o modelo.

Desta forma estas variáveis podem ser vistas como atuantes sobre o modelo, mas não influenciadas por ele (a direção causa-efeito ocorre somente no sentido variável exógena \longrightarrow sistema). As variáveis exógenas podem ser classificadas como controláveis e não controláveis. As variáveis controláveis são as variáveis ou parâmetros que podem ser manipuladas ou controladas pelos elementos encarregados da decisão ou de estabelecer o programa de ação em relação ao sistema.

Variáveis não controláveis são geradas pelas circunstâncias nas quais o sistema modelado existe e não pelo próprio sistema ou pelos elementos encarregados das decisões a ele relativas. As variáveis de estado descrevem o estado de um sistema ou de um de seus componentes, quer no início de um determinado período de tempo, quer no seu término, ou ainda durante o decorrer de certo período. Elas interagem com as variáveis exógenas e com as endógenas, de acordo com as relações funcionais previamente estabelecidas.

O valor das variáveis de estado durante certo período de tempo pode depender do valor de variáveis exógenas de um período de tempo anterior de variáveis de saída de períodos precedentes. Quando um componente utiliza em sua entrada parte de sua saída ocorre um *loop* no modelo. Estes *loops* podem ser utilizados para introduzir retardos na simulação.

Um “*loop*” causal é uma ferramenta conceitual que revela um processo dinâmico no qual efeitos em cadeia e causas interrelacionadas são conectadas por um diagrama de setas. O início de um “*loop*” é um elemento do sistema, ou seja, uma situação ou uma variável. A partir desse elemento, desenham-se setas (links) que representam influência sobre outros elementos. Como cada elemento influencia e é influenciado por outros, os links acabam formando um ciclo

de causalidade realimentado, em que um elemento é simultaneamente causa e efeito.

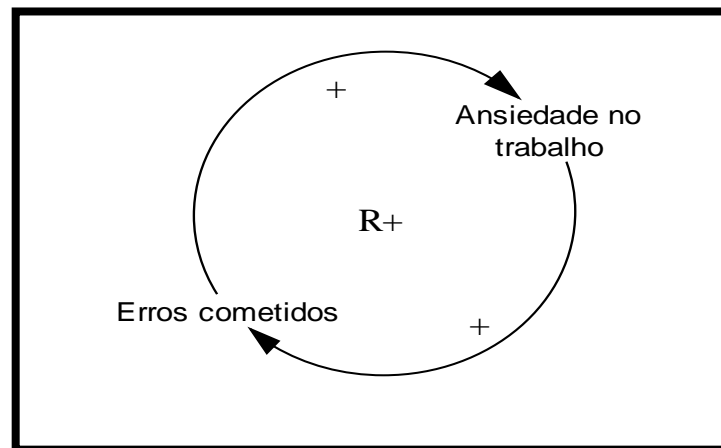
Em geral, existem dois tipos de “*loops*” causais. Os “*loops*” de Reforço (R+) ou de realimentação positivos, e os “*loops*” de Equilíbrio (E-) ou de realimentação negativa, também conhecidos por “*loops*” autorreguladores.

“*Loops*” de reforço (R+) são sistemas de realimentação (*feedback*) positiva(o). Eles podem representar ações crescentes ou decrescentes. Como exemplo, podemos citar: contas de investimento que rendem juros, e esses, por sua vez, aumentam o saldo de uma conta. Uma conta de investimento mais alta irá por sua vez, atrair uma maior taxa de juros, que dará origem a um maior retorno, e, conseqüentemente, um maior saldo na conta, e assim sucessivamente.

Um “*loop*” de equilíbrio (E-) busca estabilidade ou retorno ao controle, ou visa atender a um alvo específico. Um termostato fornece um exemplo de um processo que visa atingir uma meta. “*Loops*” de equilíbrio (E-) são também denominados pela literatura como “*loops*” de realimentação (*feedback*) negativa(o).

Apresenta-se a seguir um exemplo de “*loop*” de reforço (R+):

FIGURA 2: LOOP DE REFORÇO.

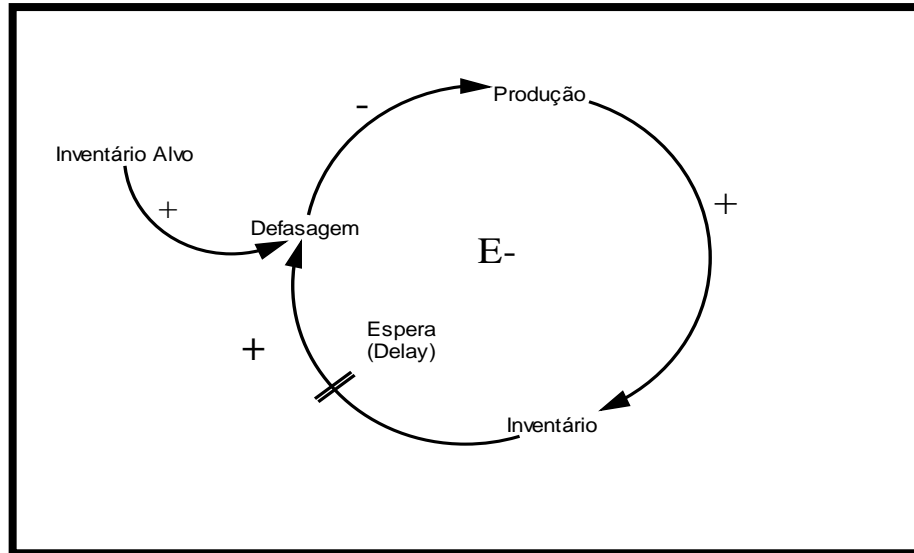


Fonte: HULMES (2004).

Como exemplo, a figura acima é assim entendida na linguagem sistêmica: quanto **maior** a ansiedade no trabalho, **maiores** serão os erros cometidos, e quanto **maiores** os erros cometidos, **maior** será a ansiedade no trabalho, e vice-versa, ou seja, as variáveis se retroalimentam positivamente, caracterizando um *loop* de reforço (R+).

Um loop de equilíbrio (E-), por sua vez, é assim representado à luz do pensamento sistêmico:

FIGURA 3: LOOP DE EQUILÍBRIO (E-)

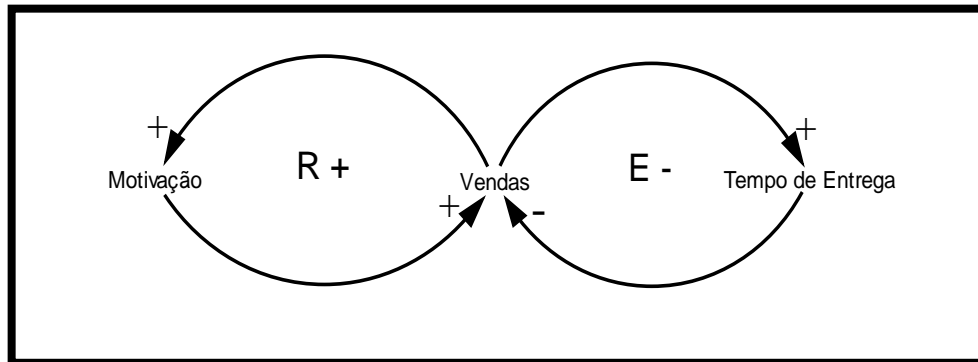


Fonte: FERNANDES (2003).

FERNANDES (2003) frisa que uma estrutura de *feedback*, nada mais é do que uma representação de um conjunto circular de causas interconectadas que em decorrência de suas estruturas e atividades, produzem certos comportamentos como resposta. Para se determinar o tipo de *feedback*, basta identificar se uma ação produz uma variação no mesmo sentido, originando um *feedback* de reforço (R+), ou se ela produz uma variação contrária, originando um *feedback* de equilíbrio (E-).

Um exemplo simples para ilustrar a representação de um sistema de *feedback*, segundo o mesmo autor, é apresentado em seguida, muito embora tal estrutura só seja válida diante de certos pressupostos²⁰.

²⁰ Alguns pressupostos desta estrutura são: a) o sistema apresenta limitação em sua capacidade produtiva; b) o tempo de entrega é relevante na decisão de compra; e c) os vendedores se motivam à medida que são recompensados pelas vendas realizadas.

FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE *FEEDBACK*.

Fonte: FERNANDES (2003)

Com o foco na figura acima, é possível identificar os seguintes elementos:

1. Variáveis ou elementos do sistema: são as entidades ou fatores relevantes do sistema – no caso acima “Motivação”, “Vendas” e “Tempo de Entrega”.

2. Relacionamentos: setas que indicam a direção da influência de uma variável sobre a outra. O sinal que acompanha a seta indica a forma de relacionamento: quando “+”, indica que a variação ocorre no mesmo sentido, no exemplo, quando **maiores** as Vendas **maior** a Motivação. Quanto **menores** as vendas, **menor** a Motivação. Por outro lado, quando o sinal é “-”, indica que a variação se dá no sentido contrário: no exemplo de FERNANDES (2003), quanto **maior** o Tempo de Entrega, **menores** as Vendas, ou quanto **menor** o Tempo de Entrega, **maiores** serão as Vendas.

3. Enlaces ou Feedbacks: conjunto circular de causas em que uma perturbação em um elemento causa uma variação nele próprio como resposta. Para determinar a polaridade basta identificar se o efeito resultante sobre ele mesmo é no mesmo sentido, originando um *Feedback* positivo ou de Reforço (R+), ou se o efeito é contrário, originando um *Feedback* negativo ou de Equilíbrio (E-). No mesmo exemplo acima, um aumento de Vendas causa mais Motivação que por sua vez mais aumento das Vendas, caracterizando um *Feedback* positivo ou de Reforço (R+). Entretanto, no lado oposto, há um *feedback* de sentido inverso acontecendo, ou seja, um aumento de Vendas causa um aumento no Tempo de Entrega, que por sua vez causa uma diminuição das Vendas. Neste caso temos um *Feedback*

Negativo ou de Equilíbrio (E-), uma vez que, percorrendo o circuito, o efeito do aumento das Vendas tende a causar um efeito contrário às Vendas.

De acordo com SENGE (2010), num sistema de *feedback* de Reforço (R+), uma pequena ação pode gerar grandes consequências, para melhor ou para pior, ou seja, uma pequena mudança pode crescer como uma bola de neve. Alguns processos de reforço são círculos viciosos, nas quais as coisas começam de mal a pior e vão piorando cada vez mais, como no caso de uma empresa que não investe gerando menos lucro e por decorrência menos investimento e menos lucro até a insolvência. Existem também os círculos virtuosos, processos que servem de reforço para a direção desejada. O efeito da divulgação “boca a boca”, de um produto, se os clientes ficarem satisfeitos, é um bom exemplo, pois a divulgação “boca a boca” positiva gera mais vendas e mais clientes, e assim, mais “boca a boca”, e, portanto, mais vendas.

Já os *feedbacks* de Equilíbrio (E-) são responsáveis pela limitação do crescimento infinito de qualquer sistema, e, muitas vezes, por serem direcionados para um objetivo ou meta.

Finalmente, com base em toda a informação obtida pelas pesquisas realizadas, na Seção seguinte serão definidas as variáveis que integrarão o modelo.

5.5.1. Desenvolvimento e apresentação

Além das variáveis exógenas que afetam diretamente o preço do carbono, listadas na Seção 3.4 deste texto (Figura 1), variáveis de estado e variáveis endógenas também fazem parte do sistema que leva a precificação das EUAs no mercado europeu, assim como definem o *spread* histórico existente entre estes certificados em relação às CERs e às ERUs no mesmo cenário.

Com a utilização do software Vensim PLE, em sua versão acadêmica, e com as variáveis apresentadas na tabela que se segue iremos desenvolver o modelo em partes, de forma a permitir ao leitor um acompanhamento detalhado, com base em tudo aquilo que foi pesquisado para a consecução deste trabalho.

QUADRO 2 - VARIÁVEIS INTEGRANTES DO MODELO - ETAPA 1.

	Classificação segundo FORRESTER (1961)	Variáveis
1	Estoques	CER emitidas
2	Estoques	Concentração de GEE na atmosfera
3	Conversor	Consumo consciente
4	Conversor	Custo de abatimento das emissões
5	Conversor	Custos de extração
6	Fluxo	Demanda das empresas por créditos de carbono
7	Fluxo	Demanda por energia fóssil
8	Conversor	Desenvolvimento
9	Estoques	Emissões totais
10	Estoques	ERU emitidas
11	Conversor	Estagnação
12	Estoques	EUA emitidas
13	Conversor	Investimentos em eficiência energética
14	Conversor	Investimentos em energia renovável
15	Fluxos	Leilões de certificados (preço sombra)
16	Conector	Monitoramento das emissões pelo agente regulador
17	Conversor	Nível da atividade econômica nas principais economias
18	Estoque	Nível das reservas fósseis
19	Conversor	Preço do petróleo, carvão e gás natural.
20	Conversor	Pressão da sociedade para redução das emissões
21	Conversor	Previsões pessimistas do IPCC
22	Conversor	Produção + Limpa
23	Fluxo	Produção de energia fóssil
24	Fluxo	Produção de energia renovável
25	Conector	Prorrogação de Quioto até 2020.
26	Conversor	Recessão
27	Conector	Restrições impostas pela EU ETS
28	Fluxo	Taxa de descoberta de novas reservas
29	Conversor	Taxação das emissões
30	Conector	Tendência de ocorrência de eventos climáticos extremos

Fonte: Pesquisa (2012).

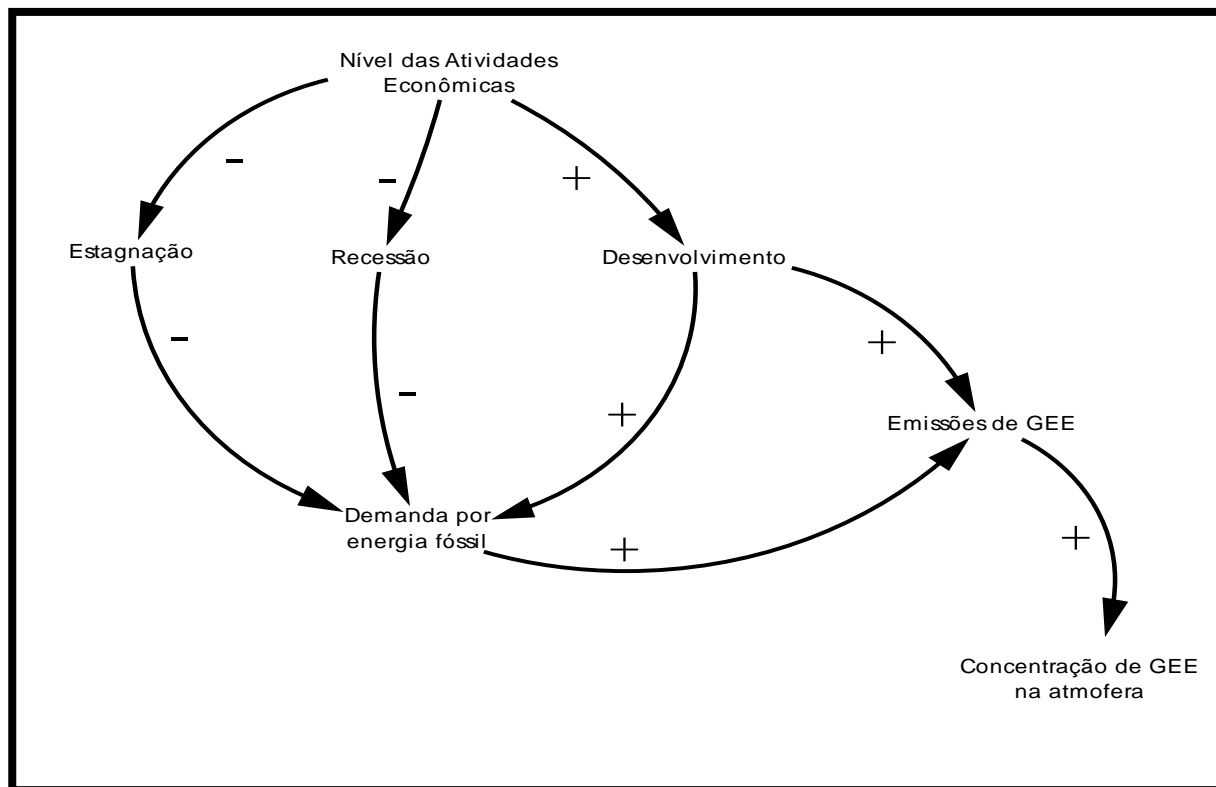


FIGURA 5: INTER-RELACIONAMENTO *PARI-PASSU* ENTRE AS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO (ETAPA 2 – PARCIAL I).

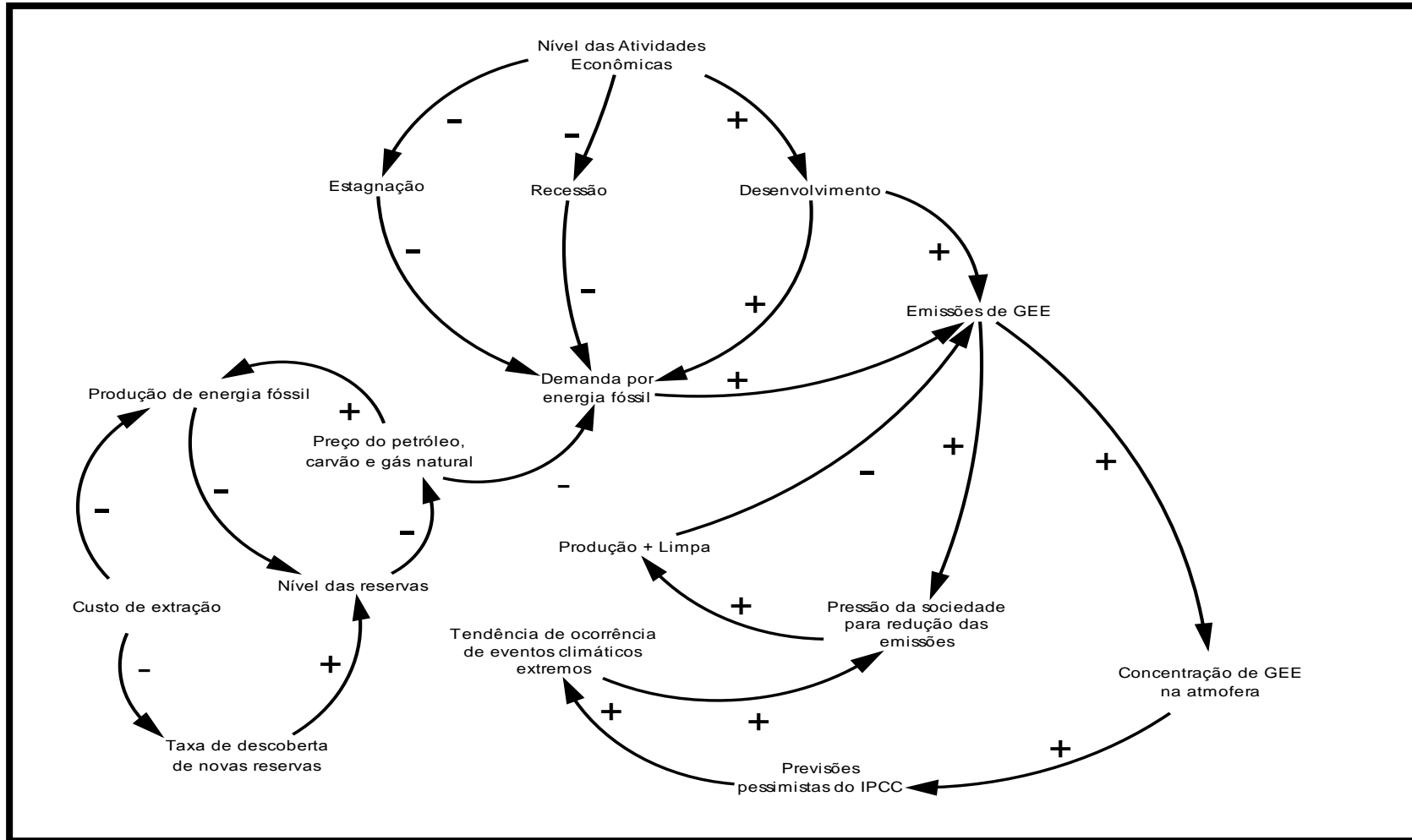


FIGURA 6: INTER-RELACIONAMENTO *PARI-PASSU* ENTRE AS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO (ETAPA 2 – PARCIAL II).

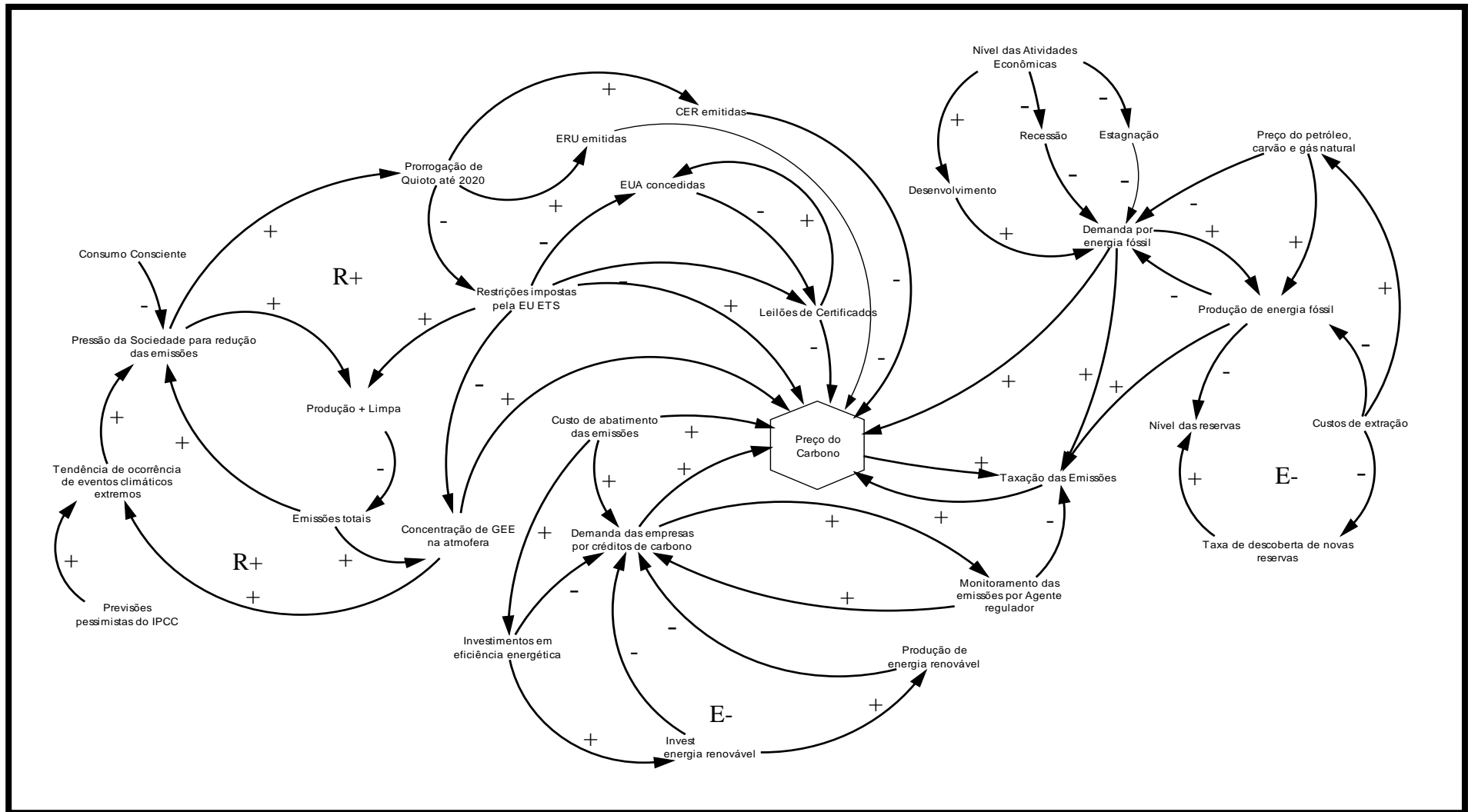


FIGURA 7: DIAGRAMA CONCLUÍDO, COM INDICAÇÃO DE ALGUNS DOS DIVERSOS *FEEDBACKS* DE EQUILÍBRIO (E-) OU DE REFORÇO (R+).

(ETAPA 3 - FINAL)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo desenvolvido, na verdade, além de poder ser aplicado especificamente para a precificação do preço dos certificados de carbono no mercado regulado pela EU ETS, pode ter a técnica nele aplicada, utilizada para se encontrar possíveis soluções no âmbito de qualquer problema considerado complexo, seja no mundo dos negócios, seja em qualquer área do conhecimento humano.

Obviamente que, como qualquer modelo, o apresentado neste TCC possui limitações, tanto na solução do próprio tema aqui discorrido, no que se refere à quantidade de variáveis envolvidas, quanto aquelas que seriam provocadas pela sua implantação em softwares acadêmicos do tipo Vensim PLE, Stella, *iThink* ou demais congêneres existentes no mercado, onde o modelo aqui desenvolvido poderia ser testado e simulado em várias de suas hipóteses (economia em recessão, estagnação ou em desenvolvimento), por meio de utilização de fórmulas matemáticas, e modificação de valores das variáveis como, por exemplo: (i) a concentração de GEE na atmosfera; (ii) a taxa de descoberta de novas reservas de combustíveis fósseis; (iii) o aumento ou redução da cobrança de taxa por emissões de GEE, já em prática em alguns países; (iv) leilões de carbono que indicam por si mesmo ao mercado o valor do seu preço sombra (*shadow price*); (v) a confirmação da prorrogação dos mecanismos do Protocolo de Quioto até o ano de 2020; (vi) o número de EUAs, CERs e ERUs emitidas; e (vii) a demanda das empresas por créditos de carbono, dentre outras variáveis, provocando resultados diferentes, ou seja, projeções de preços diferentes para os certificados de carbono negociados no mercado internacional, conforme as premissas adotadas.

Fazendo uma prospecção do bem que poderá ser proporcionado com a aplicação do modelo aqui apresentado, o autor deste texto pode afirmar com convicção que o estudo desenvolvido até a conclusão deste trabalho certamente poderá servir de base de interesse para uma interessante dissertação de mestrado.
XXX.

Curitiba, PR, _____ de Novembro de 2012.

João Carlos Nascimento Alcantara
Curso de Especialização em Gestão Florestal
Turma 2010/1

7. 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.

AIE. Agência Internacional de Energia. **Key World Energy Statistics 2011**. Disponível na língua inglesa em: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf. Acesso em: 10/07/2012.

BANCO MUNDIAL. World Bank. **Gem Commodities**. 2012. Disponível em: <http://data.worldbank.org/data-catalog/commodity-price-data>. Acesso em 12/07/2012.

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. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg3/454.htm. Acesso em 30/06/2012.

BGR. 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.

CARBONE. 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, B. A. **Physical Geography: A systems approach**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1971.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blücher Ltda. 1ª Edição, 1999.

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

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

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

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

FERNANDES, A. C. **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, 2003.

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

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

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

HULMES, L. L. **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.

ICE. Intercontinental Exchange, Inc. Página WEB Disponível em Inglês em: <https://www.theice.com/homepage.jhtml>. Acesso em 23/07/2012.

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.

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

QUIOTO (1997). **The Kyoto Protocol**. Disponível em: <http://treaties.un.org/doc/source/RecentTexts/kyoto-en.htm>. Acesso em 25/07/2012.

REMADE. **Revista da Madeira**. Edição nº 99. Setembro de 2006. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=968&subject=MDL&title=O%20Mecanismo%20de%20Desenvolvimento%20Limpo%20e%20as%20oportunidades%20para%20o%20setor. Acesso em 21/05/2012.

SCHEIDEGGER, A. D. **Theoretical Geomorfology**, Berlim, Springer Verlag, (3ª Edição, 1991.

SENGE, P. M. **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.

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.

STRAHLER, A. N. **Systems 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., U.S.A. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm. Acesso em 30/06/2012.

XXX