

Hipótese Dinâmica do Mercado de Carbono para Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo Dynamic Hypothesis of Carbon Market for Clean Development Mechanism Projects

Simone Leticia Raimundini, MSc., Denis Borenstein, PhD.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Administração
simone.raimundini@ufrgs.br, denisb@ea.ufrgs.br

--Recibido para revisión 2012, aceptado fecha, versión final 2012--

Resumo: O Protocolo de Quioto criou o mercado de carbono. Esse mercado é formado pelo mercado regulamentado, denominado de Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia, e o mercado voluntário. No mercado regulamentado são negociadas as Unidades de Redução de Emissão e as Reduções Certificadas de Emissão. As Unidades de Redução de Emissão são geradas a partir de projetos de Implementação Conjunta, realizados somente em países desenvolvidos, e as Reduções Certificadas de Emissão são geradas a partir de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, realizados somente em países em desenvolvimento. Estudos em dinâmica de sistemas sobre o mercado de carbono se limitam em modelar políticas públicas sobre mudanças climáticas e a emissão dos gases de efeito estufa, ou sobre setores específicos como o setor de energia, ou ainda, projetos de Implementação Conjunta. O objetivo desta pesquisa é apresentar a hipótese dinâmica do modelo de simulação do mercado de carbono para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. A hipótese dinâmica está fundamentada na demanda e oferta.

Palavras Chave—Mercado de Carbono, Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Dinâmica de Sistema, Hipótese Dinâmica, Demanda e Oferta.

Abstract: The Kyoto Protocol created carbon market. This market consists of the regulated market, called European Union Emissions Trading Scheme, and the voluntary market. The Emission Reduction Units and Certified Emission Reductions are traded on the regulated market. The Emission Reduction Units are generated from Joint Implementation projects, made only in developed countries, and the Certified Emission Reductions are generated from Clean Development Mechanism projects, made only in developing countries.

Research system dynamics on the carbon market are limited in shaping public policies on climate change and the emission of greenhouse gases, or on specific sectors such as the energy sector, or still Joint Implementation projects. The objective of this research is present the dynamic hypothesis of carbon market for Clean Development Mechanism projects. The dynamic hypothesis is based demand and supply.

Keywords—Carbon Market, Clean Development Mechanism Projects, Dynamic System, Dynamic Hypothesis, Demand and Supply.

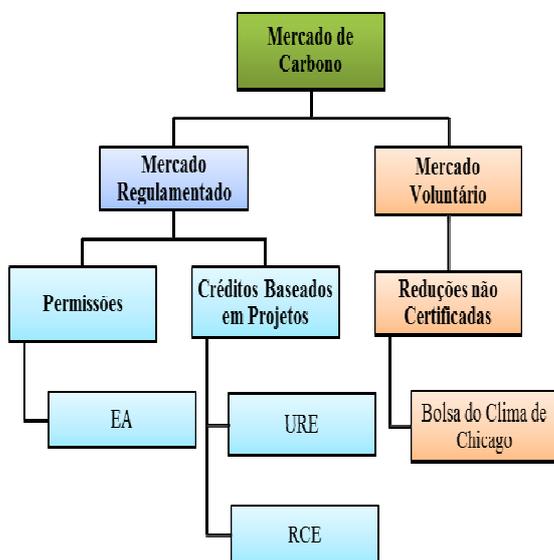
1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e as mudanças climáticas remontam o início da década de 1970, com a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Após vinte anos, em 1992, foi criada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e, em 1997, foi assinado o Protocolo de Quioto.

Neste Protocolo os países signatários classificados como nações industrializadas (países desenvolvidos) se comprometeram a atingir metas de redução de suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e os países signatários classificados como países em desenvolvimento poderiam implementar projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Esses projetos são denominados de mecanismos de flexibilização e faz parte do mercado mundial de créditos de carbono, doravante mercado de carbono.

O mercado de carbono é formado por dois mercados: mercado regulamentado e o mercado voluntário (**Figura 1**).



Fonte: adaptado de [13].

Figura 1. Estrutura do mercado de carbono

O mercado regulamentado de Quioto foi criado pela União Europeia em 2002 com vigência a partir de 2005, o qual é denominado de Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (*European Union Emissions Trading Scheme – EU ETS*). Neste mercado são negociadas as Unidades de Redução de Emissão (URE) e da Redução Certificada de Emissão (RCE). As URE são geradas a partir de projetos de Implementação Conjunta (IC), realizados somente em países desenvolvidos. Já as RCE são geradas a partir de projetos de MDL, realizados somente em países em desenvolvimento.

O outro mercado, denominado de “mercado voluntário”, é liderado pelos Estados Unidos. Neste mercado são negociadas as reduções não certificadas pelo Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da Organização das Nações Unidas (CEMDL/ONU).

Desde a assinatura do Protocolo de Quioto e, principalmente, a partir da criação do EU ETS, o mercado de carbono tem crescido. Além de constatarem o crescimento do mercado de carbono, estudos realizados pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2001) apontam que a emissão de CO₂ em países participantes da OECD deve aumentar em 33% entre 1995 e 2020 e 100% nos países não participantes da OECD. Estudo publicado, em 2007, pelo *International Energy Agency* (IEA)

revela que se for estancada a implantação de medidas para o controle de emissão de GEE, em 2030 serão emitidos 42 Gt desses gases, o que representa um aumento de 56% em relação a 2007 [1].

Em pesquisa bibliográfica realizada observou-se que, até o momento, foram desenvolvidos vários modelos de simulação que contemplam o mercado de crédito de carbono. Contudo todos os modelos estão voltados para os projetos de IC, ou tratam de políticas públicas sobre a mudança climática e a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), ou sobre setores específicos como o setor de energia. Não foi encontrado nenhum estudo que apresentasse um modelo de simulação cujo foco é os projetos de MDL.

Entre os estudos realizados destaca-se [14] que apresentam as seguintes considerações sobre a dinâmica do mercado de carbono, especificamente sobre o preço das URE:

- Oferta, depende da quantidade de URE que os países participantes do EU ETS emitem e a oferta de créditos de carbono provenientes de projetos de MDL e IC tem menor impacto nos preços da URE porque tratam de créditos com maior incerteza e em pequena quantidade devido à morosidade e custos altos do processo de certificação.
- Demanda, determinada, principalmente, pela expectativa de crescimento econômico. Contudo, o limite de emissões dos GEE é dado pelos Planos de Alocação Nacional (PAN), tornando as URE um fator de insumo escasso. Assim, a expectativa de crescimento econômico causa o aumento da demanda por URE, assim como aumenta a demanda por outros fatores de produção. Ainda, a demanda é influenciada pela expectativa de consumo e a variação de preço de fontes energéticas fósseis (petróleo, carvão e gás).
- Estrutura de mercado, regulação e intervenção compreende a incerteza sobre os preços futuros e as decisões políticas sobre as regras de emissão dos GEE, aquisição de créditos de projetos de MDL e IC, metodologias de linha de base dos projetos de MDL uma vez que o mercado de RCE ainda é pequeno.

Para [15] os principais fatores que determinam os preços das URE podem ser divididos em duas macro-categorias: (i) política e regulação, que tem impacto de longo prazo nos preços da URE e; (ii) fundamentos de mercado, os quais influenciam diretamente na emissão dos GEE, logo na oferta e demanda por URE.

Esses autores comentam que a oferta de RCE afeta o preço das URE que depende, no curto prazo, das variáveis financeiras, principalmente do

preço dos combustíveis fósseis, e; no longo prazo, depende das variáveis econômicas, principalmente do quadro político e de regulamentação.

A demanda pelas URE também é afetada pelo crescimento econômico e condições climáticas. A economia em período de crescimento aumenta os níveis de produção, aumentando as emissões de GEE e demanda pelas URE, logo o seu preço. O contrário também é verdadeiro. O mesmo acontece se as condições climáticas ocasionarem maior consumo de fontes energéticas. Por outro lado, a oferta e o preço das URE dependem do preço das *commodities* energéticas (carvão, gás e petróleo). É o efeito de substituição no curto prazo e elevação do preço das URE no longo prazo [15].

Ainda, deve considerar que a conjuntura econômica também influencia neste mercado. Nota-se que com a crise financeira de 2008, a demanda por RCE tem decrescido bem como o seu preço, dado que os principais países compradores desses créditos foram afetados. Neste caso, aplica a teoria da Preferência pela Liquidez, de Keynes, devido a incerteza e necessidade de liquidez, teve impacto indireto no mercado de carbono através do preço das *commodities* energéticas, principalmente o petróleo. A queda no preço do barril do petróleo no período de 2008-2009 reduziu a demanda por URE, iniciando um movimento de venda para aumentar a sua liquidez, diminuindo ainda mais o preço das URE porque houve maior oferta [17].

Para [19] o aumento na oferta de RCE depende:

- de melhoria dos instrumentos regulatórios nacionais;
- de incentivos oferecidos pelos órgãos governamentais;
- da continuidade do Protocolo de Quioto;
- do comportamento do mercado europeu de permissões;
- da adesão dos EUA ao Protocolo de Quioto;
- da quantidade e do tipo de projeto que iniciam o processo de certificação;
- do tempo de processamento e da taxa de sucesso em cada etapa do processo de certificação; e
- da eficácia esperada para cada projeto em demonstrar e cumprir o fluxo de direitos de emissões pleiteado.

O aumento na demanda de RCE depende:

- do ritmo de crescimento econômico dos países com metas estabelecidas de redução de emissão de GEE;
- do ritmo do avanço técnico direcionado à modificação da matriz energética e ao aumento da eficiência energética dos maiores setores emissores de GEE; e

- do comprometimento de novos países, principalmente dos Estados Unidos, com metas de emissão dos GEE.

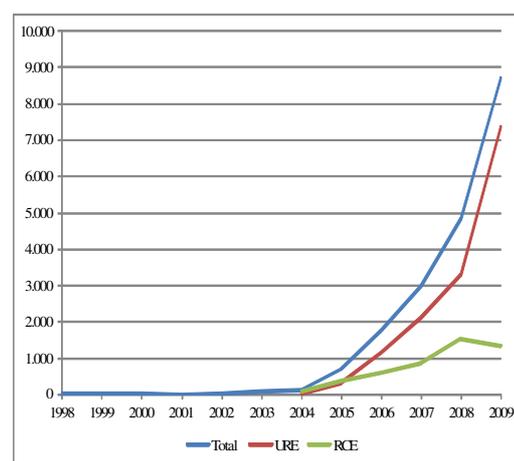
Sumarizando, identifica que os principais fatores que influenciam o mercado de carbono são: o crescimento econômico; a emissão de GEE; as metas de redução dos GEE; a oferta e demanda de URE e RCE; o consumo e o preço de fontes de energia fósseis, principalmente carvão, gás e petróleo e; políticas públicas globais e locais sobre mudanças climáticas e de fomento aos projetos de MDL.

Assim, este artigo apresenta a hipótese dinâmica do mercado de créditos de carbono para projetos de MDL, considerando as principais variáveis macroeconômicas que influenciam neste mercado.

2. MODO DE REFERÊNCIA

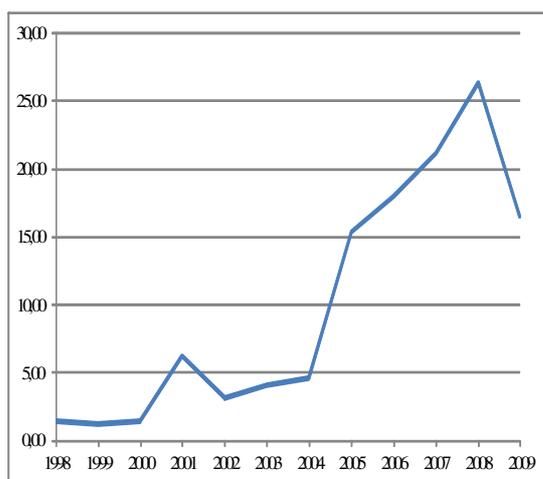
O modo de referência compreende a caracterização da dinâmica do problema, ou seja, apresenta as variáveis-chaves do modelo e como elas estão relacionadas entre si (laços causais) [2], [3].

As **Figuras 2, 3 e 4** apresentam, respectivamente, a dinâmica do volume negociado, o valor médio dos créditos de carbono negociado e o comportamento histórico de projetos de MDL registrados na Organização das Nações Unidas (ONU).



Fonte: [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Figura 2. Volume (em MtCO₂) negociado de crédito de carbono



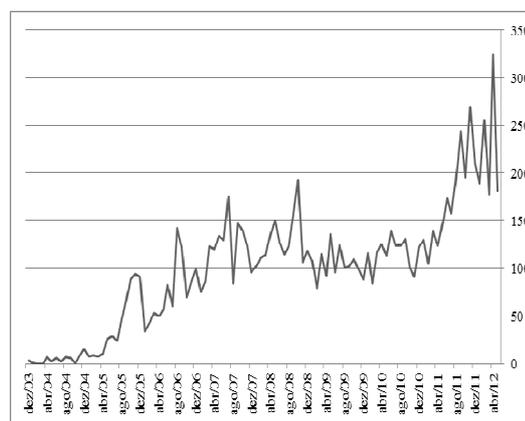
Fonte: [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Figura 3. Preço médio (em US\$) dos crédito de carbono negociados

As **Figuras 2 e 3** apresenta crescimento acentuado a partir de 2004. Porém o comportamento do preço médio negociado da MtCO₂ apresenta maior oscilação. Isto é, o preço não depende somente da demanda e oferta dos créditos de carbono, há outros fatores que influenciam, como o atingimento das metas de redução das emissões dos GEE dos países signatários do Protocolo de Quioto, principalmente os países europeus por serem os principais *players* compradores dos créditos de carbono.

Ainda, nota-se que a quantidade de RCE negociadas não manteve o mesmo ritmo de crescimento, acentuando uma queda entre os anos de 2008 e 2009, ápice da crise financeira norte americana com efeito em todo o mundo. Isto mostra que em momentos de crise econômica-financeira, aumenta a incerteza e a necessidade de liquidez por haver recessão e redução da produção industrial, logo ocorre a queda no preço de energias fósseis, reduzindo a emissão de GEE e a demanda por RCE. Pelo mesmo motivo, o preço médio dos créditos de carbono também sofreu uma queda no período 2008-2009.

Assim, as **Figuras 2 e 3** mostram o comportamento da variável “demanda” sob a perspectiva de volume negociado e preço. Por outro lado, a variável “oferta” é visualizada pelo comportamento de projetos de MDL registrados, como mostra a **Figura 4**.



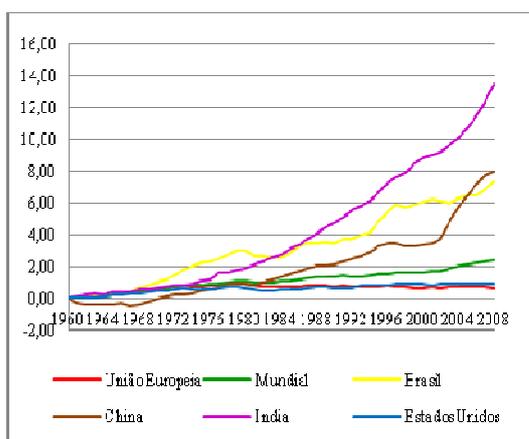
Fonte: [16].

Figura 4. Crescimento do número de projetos MDL registrados na ONU

A análise da **Figura 4** mostra que, historicamente, há uma tendência de crescimento no número de projetos de MDL validados e registrados na ONU, que geram os créditos de carbono que compõem a oferta. Esta tendência reduziu no período imediato à crise financeira de 2008, retomando a partir do ano de 2011.

Dados atualizados até maio de 2012, indicavam que haviam 4.298 projetos de MDL registrados na ONU, emitindo RCE. A China é o país com a maior quantidade de projetos registrados, são 2.102 projetos (49%), seguida pela Índia, 855 projetos (20%) e pelo Brasil com 204 projetos (5%). Entre esses projetos registrados, a China emitiu 60% das RCE a Índia 15%, a República da Coreia 9% e o Brasil, em quarto lugar, com 7% [16]. Nota-se que a participação de cada país é diferente quando se fala de número de projetos e a quantidade de RCE emitidas. Essa diferença é decorrente da capacidade de cada projeto reduzir as emissões ou capturar os GEE, o que implica na quantidade de RCE autorizadas para comercialização.

A **Figura 5** apresenta a taxa de crescimento das emissões de GEE dos principais *players* do mercado de carbono (União Europeia, Brasil, China, Índia e Estados Unidos), e compara com as taxas mundiais.



Fonte: [12]

Figura 5. Taxa de crescimento acumulado de emissão de GEE (em %, ano base 1960)

No período analisado observa-se que os países que saíram da condição econômica de subdesenvolvimento para emergente apresentam as maiores taxas de aumento nas emissões de GEE, em contraposição com as taxas mundiais, europeia e norte-americana que apresentaram um crescimento bem aquém. Contudo, nessa análise deve ser considerada a participação que cada um desses *players* na conjuntura mundial (**Tabela 1**).

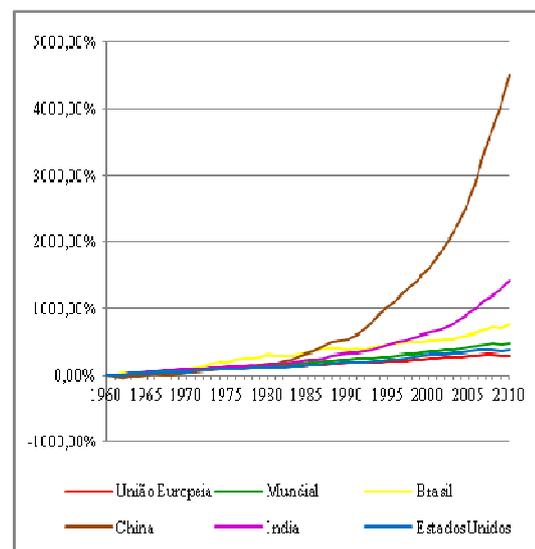
Tabela 1. Principais players na emissão dos GEE no mundo

Principais players	1960	2008
Estados Unidos	30,76%	17,02%
União Europeia	24,95%	12,18%
Brasil	0,50%	1,23%
China	8,31%	21,92%
Índia	1,28%	5,43%
Média Mundial	2,99%	2,51%

Fonte: [12]

Considerando a **Tabela 1** para complementar a análise da **Figura 5** depreende-se que embora a taxa de crescimento das emissões de GEE da União Europeia foram baixas para o período de 1960-2008, eles ainda são responsáveis por aproximadamente 29% das emissões mundiais, em 2008, índice que era de 55% em 1960. Merece destaque a China que participava com 8,31% das emissões mundiais de GEE em 1960, atingindo 21,92% em 2008, bem acima da média mundial. O Brasil também apresentou aumento na participação mundial de emissão dos GEE, mas ainda se mantém abaixo da média mundial. Por fim, o fato de os dois principais *players* terem reduzido os percentuais de participação na emissão dos GEE, contribuiu para reduzir a média mundial em meio ponto percentual.

Ainda, a taxa de crescimento das emissões de GEE deve ser analisada em conjunto com a taxa de crescimento acumulado do Produto Interno Bruto (PIB) (**Figura 6**).



Fonte: [12]

Figura 6. Taxa de crescimento acumulado do PIB (em %, ano base 1960)

Nota-se que Brasil, China e Índia tiveram as maiores taxas de crescimento do PIB para o período de 1960 a 2010, em relação à taxa mundial, europeia e norte-americana. Isto induz uma correlação positiva entre a taxa anual do PIB com a taxa anual das emissões de GEE em países economicamente emergentes: $r = 0,70$ para o Brasil e $r = 0,74$ para a China. Correlação próxima ao da União Europeia ($r = 0,67$) e mundial ($r = 0,71$). Ainda, deve considerar-se que o crescimento econômico da China e da Índia foi sustentado em uma matriz energética fóssil e poluente, ao contrário do Brasil que possui uma matriz energética limpa.

Ainda, como parte do modo de referência tem a definição do horizonte de tempo. Por ser um mercado recente, as informações históricas de todas as variáveis se iniciam em 2004. Para a análise de políticas deve ser considerado um período de 21 anos futuros, analisados mensalmente, pelo fato de projetos de MDL desenvolvidos no Brasil são predominantemente industriais, com período de duração de até 21 anos, contados a partir da data de início do primeiro período emissão das RCEs.

3. HIPÓTESE DINÂMICA

A elaboração do mapa que explica a dinâmica do problema (hipótese dinâmica) é uma das etapas mais importante de todo o processo de desenvolvimento de um modelo baseado em dinâmica de sistemas, dado que apresenta os laços causais e a estrutura de estoque e fluxo.

Assim, a hipótese dinâmica do mercado de créditos de carbono para projetos de MDL é apresentada na **Figura 7**.

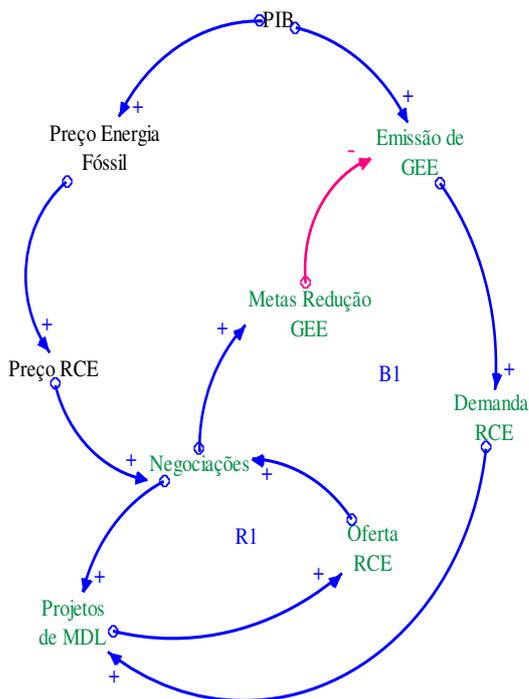


Figura 7. Hipótese dinâmica para Projetos de Mecanismo Desenvolvimento Limpo

Esta hipótese dinâmica é composta por seis variáveis endógenas: “Emissão GEE”, “Demanda RCE”, “Projetos MDL”, “Oferta RCE”, “Negociações” e “Metas Redução GEE”. As variáveis endógenas determinam a dinâmica bem como especificam a sua estrutura e as regras de interação (as regras de decisão) do modelo de simulação [3] e elas são influenciadas por outras variáveis que estão em algum laço causal [2]. Ainda, na hipótese dinâmica há três variáveis exógenas: “PIB”, “Preço de Energia Fóssil” e “Preço RCE”. Essas variáveis são assim denominadas porque estão fora dos limites do modelo, porém interligadas a ele, causando mudanças nas variáveis endógenas [2, 3].

A seguir, é comentada cada uma dessas variáveis.

A variável “Emissão GEE” compreende a quantidade em que esses gases são emitidos, no mundo. A emissão dos GEE depende do comportamento do PIB, de modo que se houver aumento no PIB, aumenta as emissões dos gases poluentes. Como a indústria é um dos principais segmentos que emitem os GEE e também um dos principais fatores que compreende o cálculo do PIB, considerou o PIB como a variável exógena que melhor influencia no comportamento da emissão de GEE.

Por sua vez, a emissão de GEE irá influenciar na “Demanda RCE”. Ou seja, os países industrializados signatários do Protocolo de Quioto por não atenderem as suas metas de emissão dos GEE, principalmente os países europeus que devem cumprir o PAN, buscam pela aquisição das RCEs, geradas pelos projetos de MDL que são desenvolvidos nos países hospedeiros (países cuja economia está em desenvolvimento).

Os “Projetos de MDL” é um dos mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto. Para que um projeto de MDL seja válido é necessário seu registro no Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da ONU. Para obter esse registro e emitir as RCE são exigidos alguns requisitos, denominados de critérios de elegibilidade: a) prever a participação voluntária da(s) parte(s) envolvida(s); b) promover reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto; e c) garantir benefícios reais e mensuráveis de longo prazo relacionados à mitigação da mudança climática.

Contudo, os projetos de MDL tem prazo de validade e de certificação para emissão das RCE, que pode ser [18]:

- para projetos industriais, no máximo de sete anos, renovável no máximo duas vezes por igual período, totalizando vinte e um anos, ou no máximo de dez anos, sem opção de renovação;
- para projetos florestais, no máximo de vinte anos, renovável no máximo duas vezes por igual período, totalizando sessenta anos, ou no máximo de trinta anos, sem opção de renovação.

A renovação do projeto de MDL deve ser informada ao Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da ONU a linha de base original do projeto ainda é válida ou, se for o caso, se foi atualizada de acordo com a existência de novos dados.

Quanto aos participantes, os projetos de MDL podem ser:

a) **Unilateral**, quando o agente econômico sediado em um país hospedeiro por si só implementa o projeto, sem qualquer contribuição financeira ou tecnológica de países participantes do Anexo I. Todos os custos e riscos referentes ao projeto, compreendendo a certificação e o funcionamento do projeto, recaem ao país hospedeiro. As RCE ou o seu direito de emissão são de propriedade do desenvolvedor do projeto, que poderá vendê-las diretamente ao comprador que não atendeu às suas metas de emissões de GEE ou colocá-los à venda no mercado primário de crédito de carbono.

b) **Bilateral**, quando houver contrato entre um investidor (com sede em algum país do Anexo I da UNFCCC) e o agente econômico sediado em algum país hospedeiro. A propriedade das RCE deverá estar prevista no contrato, podendo ser dividida entre as partes envolvidas.

c) **Multilateral**, quando for viabilizado por algum fundo internacional multinacional. Neste caso, o fundo participa em mais de um projeto e as RCE pertencem ao fundo, que vai distribuí-las entre os seus participantes, cabendo ao país hospedeiro apenas os benefícios da atividade dos projetos.

Assim, os projetos de MDL é a parte que faz a oferta da RCE, ou seja, o aumento dos projetos de MDL que geram RCE leva ao aumento da “Oferta RCE”, outra variável endógena da hipótese dinâmica.

A oferta de RCE tem a finalidade de atender a demanda das RCE. Contudo, a interação entre a demanda-oferta-demanda ocorre alguns atrasos informações, justamente devido ao tempo de ajustamento entre demanda-oferta e oferta-demanda das RCE, dado pelo tempo que decorre desde o prazo de elaboração e aprovação dos projetos de MDL até a emissão e venda das RCE.

Neste atraso informacional diversos eventos podem ocorrer que venham refletir tanto no aumento da demanda quanto na sua diminuição, com o mesmo efeito, porém tardio, na oferta.

Por esse motivo, o PIB tem influência no preço das energias fósseis, logo no preço das RCE. Em outras palavras, quanto maior for a taxa de crescimento do PIB tende-se aumentar o consumo desse tipo de energia que compreende a matriz energética da maioria dos países, principalmente europeus. O aumento do consumo das energias fósseis tem o aumento do preço delas. Assim a variável exógena “Preço Energia Fóssil” reflete no comportamento da, também, variável exógena “Preço RCE”.

A variável “Preço RCE” irá influenciar o comportamento da oferta de RCE. Quando as RCE estão com preços em crescimento, observa o aumento na quantidade de RCE negociadas e o

aumento no número de projeto de MDL registrados. Em situações de recessão, observa que a taxa do PIB sofre uma retração, refletindo negativamente no preço das fontes de energias fósseis, por consequência no preço das RCE e na demanda, tendo a oferta de RCE ajustar-se. Porém, esse efeito dinâmico é marcado por atrasos temporais. Tais comportamentos podem ser observados na **Figura 2, 3 e 4** e confirmando a Teoria da Preferência pela Liquidez, de Keynes, que em momentos de recessão econômica, quando ocorre o aumento da incerteza sobre o mercado, aumenta a necessidade de liquidez e reduz a produção, causando menor consumo de energia esta tende reduzir seus preços. Também a menor produção reduz a emissão dos GEE, logo demanda por RCE. Assim, afeta diretamente a atratividade dos projetos de MDL, ajustando a oferta de RCE [17 e 19].

A variável endógena “Negociações” é a variável que representa as RCE negociadas, isto é, a quantidade de GEE que foram capturadas e vendidas aos compradores que não atingiram a sua meta de emissão desses gases.

Por fim, a variável endógena “Metas Redução GEE” compreende a quantidade de GEE que deveriam ser emitidos pelos países. Caso a emissão dos GEE atinja a meta não existiria demanda por RCE. Para isto acontecer é necessário substituir a matriz energética poluente por uma matriz energética limpa, desenvolver tecnologias que catalisam ou emitam o mínimo possível de GEE em todos os segmentos econômicos. Como atingir esse nível é quase inexequível, é muito provável que as emissões de GEE estejam sempre acima das metas de emitir esses gases, de modo que sempre haverá alguma demanda por RCE.

Tal situação assim se verifica quando países hospedeiros de projetos de MDL consideram que esses projetos são parte necessária para que esses países também atinjam suas metas de reduções de GEE. Por exemplo: o Brasil manifestou o compromisso de reduzir a emissão de GEE com ações de mitigação, até 2020, entre 36,1% e 38,9% (ano de referência: 2005), principalmente em decorrência do desmatamento e do uso da terra [20 e 21]. Outros países em desenvolvimento, também fixaram metas para reduzir a emissão dos GEE, a partir de ações de mitigação: China, entre 40% e 45%; Índia, entre 20% e 25%; Coreia do Sul e México, 30%; África do Sul, 34%; e Indonésia, 26% (todos com referência ao ano de 2005). Mas, assim como o Brasil, preveem a continuidade dos projetos de MDL [21].

Discorrido sobre as variáveis que compõe a hipótese dinâmica, os próximos parágrafos tratam

dos dois principais laços: um laço de reforço e um laço de balanceamento.

O laço de reforço (R) amplifica o que está acontecendo no sistema, gerando estruturas de crescimento ou de declínio exponenciais, dado o seu comportamento de círculo vicioso. Por sua vez, o laço balanceador (B) busca o equilíbrio, a estabilização, a limitação e a resistência, com orientação para uma meta [2 e 3].

O laço de reforço (R1) representa o ciclo sistêmico da oferta das RCE, que tende ao comportamento de crescimento quando a demanda e o preço das RCE assim o influenciarem, ou tende ao comportamento de declínio quando não houver demanda e/ou redução do preço das RCE. Em ambas as situações, o comportamento de amplificação positiva ou negativa.

Por sua vez, o laço de balanceamento (B1) representa o ciclo sistêmico da demanda de RCE, que tendo ao comportamento de estabilização, equilíbrio, busca por uma meta. Tal equilíbrio ou meta é alcançado quando ocorre a compra das RCE, isto é, ao comprar os créditos de carbono o comprador está compensando uma obrigação que não foi atingida: a emissão dos GEE acima do limite estabelecido.

Assim a hipótese dinâmica do mercado de carbono para os projetos de MDL se constitui com base na lei econômica da demanda e oferta. Se a demanda aumenta, tende a aumentar os projetos de MDL para que haja oferta de RCE e cubra a necessidade de mercado que é, na média mundial, o atingimento da meta de emissão de GEE do mundo. Fala-se na média mundial porque enquanto alguns países poluem acima do que deveriam poluir; outros países não poluem ou poluem abaixo do que foi estabelecido como limite máximo. Considerando as duas partes conjuntamente obtém um resultado que está dentro dos limites aceitáveis de emissão de GEE a nível mundial.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de modelos de simulação baseados em dinâmica de sistemas requer que o problema a ser modelado seja apresentado em círculos de causalidade para mostrar que as variáveis se interligam e se influenciam mutuamente, expondo a sua dinâmica. Com isto, a dinâmica de sistemas ajuda a analisar os sistemas complexos, com ênfase especial no papel das realimentações da informação.

Definir a hipótese dinâmica de um problema é parte de um processo de aprendizagem que transfere o mapa mental (conhecimento tácito

sobre o mundo real) para um mapa (diagrama) que expõe a rede de causas e efeitos bem como os limites (variáveis endógenas e exógenas) do problema (conhecimento explícito do mundo real). À medida que aumenta a precisão na definição da estrutura do mapa mental, aumenta a precisão do modelo.

Desse modo, o diagrama de laço causal apresenta os pressupostos estruturais do modelo mental, capturando as hipóteses sobre as causas da dinâmica e comunicando as realimentações importantes e responsáveis por um problema. Ainda, explica a dinâmica do problema e define as variáveis endógenas, exógenas e excluídas do modelo de simulação. Por isto o diagrama de laço causal é a hipótese dinâmica do modelo de simulação.

Para apresentar uma hipótese que expõe a dinâmica de um problema é necessário, primeiramente, conhecer o problema e o seu objeto. Definido o problema e o objeto do problema, identifica e define as variáveis chaves e como elas se relacionam (balanço ou reforço), usando os laços (setas) para isto. As variáveis chaves compreendem o modo de referência, ou seja, o seu comportamento ao longo do tempo.

No modelo proposto observa que o problema (mercado de carbono), o objeto do problema (projetos de MDL) e a sua dinâmica estão circunstanciados pela lei econômica da demanda e oferta. Essa lei, quando simulada em dinâmica de sistemas, possibilita compreender o comportamento da expansão ou da retração da demanda de RCE sobre a sua oferta, considerando o atraso temporal de ajuste dada a mudança em alguma(s) variável(is).

A oferta de RCE, então a criação e implantação dos projetos de MDL, é um sistema vicioso de amplificação, que tende a aumentar quando a demanda aumentar ou tende a diminuir quando a demanda diminuir. Esse ajuste entre a demanda e a oferta ocorre com atraso, por isto, deve considerar que períodos de crescimento ou crise econômica tem efeito sistêmico e duradouro, mesmo que o ápice do evento econômico já tenha transcorrido.

A demanda de RCE é um sistema que busca por uma meta (balanceador) porque surge da necessidade de compensar o excedente de emissões de GEE. Não houvesse esse excedente de emissões não haveria demanda, portanto não haveria a necessidade de projetos de MDL que geram RCE para realizar a oferta.

Como isto, o modelo expõe que o crescimento econômico, por meio das variáveis exógenas, principalmente a variável "PIB", como aquelas que alteram a dinâmica do mercado de carbono.

5. REFERÊNCIAS

- [1] M. E. B. Seiffert. Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto: oportunidades de negócio na busca da sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2009.
- [2] A. Ford. Modeling the environment: an introduction to System Dynamics models of environmental systems. Washington: Island Press, 1999.
- [3] J. D. Sterman. Business Dynamics: system thinking and modeling for a complex world. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- [4] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2003. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, Dec. 2003.
- [5] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2004. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, June 2004.
- [6] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2005. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, May 2005.
- [7] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2006. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, May 2006.
- [8] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2007. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, May 2007.
- [9] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2008. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, May 2008.
- [10] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2009. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, May 2009.
- [11] K. Capoor, P. Ambrosi. State and trends of the carbon market 2010. Banco Mundial e IETA (International Emissions Trading Association), Washington DC, May 2010.
- [12] Banco Mundial. The World Bank: indicators. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator> [citado 3 de Julho de 2012].
- [13] R. Mero. Market and CER pricing. In: Special CDM Capacity Building Workshop. DICC-DAR ES SALLAM, Tanzânia, 21-22 Jan. 2008. Disponível em: http://cd4cdm.org/sub-Saharan%20Africa/Tanzania/Workshop%20&%20Briefing/Market&CERpricing_Mero.pdf. Acesso em: 10 jan. 2012.
- [14] W. Rickels, V. Duscha, A. Keller, S. Peterson. The determinants of allowance prices in the European Emissions Trading Scheme: can we expect an efficient allowance market 2008? Kiel Institute for the World Economy, Working Papers, n. 1387, 2007.
- [15] C. Carraro, A. Favero. The Economic and Financial Determinants of Carbon Prices. Journal of Economics and Finance, v. 59, n. 5, p. 396-409, 2009.
- [16] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). CDM in Numbers. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>. Acesso em: 02 jul. 2012b.
- [17] R. V Cunha. A crise financeira internacional no Mercado de Carbono: um estudo sobre os canais de transmissão. 81 f. Dissertação (Mestrado em Economia Política) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2009.
- [18] D. Limiro. Créditos de Carbono: Protocolo de Quioto e Projetos de MDL. Curitiba: Juruá, 2009.
- [19] M. A. C. Pinto, M. M. Costa, G. G. Martins, L. F. P. Costa, R. O. Ferreira. Modelagem econômica para análise das perspectivas no Mercado de Crédito de Carbono. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 14, n. 29, p. 115-156, Jun. 2008.
- [20] Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215070.pdf. Acesso em: 02 mai. 2011.

[21] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Appendix II – Nationally appropriate mitigation actions of developing country parties. Disponível em: <http://unfccc.int/meetings/cop_15/copenhagen_agreement/items/5265.php>. Acesso em: 02 mai. 2011

6. ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

EU ETS – Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia
GEE – Gases de Efeito Estufa
IC – Implementação Conjunta
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ONU – Organização das Nações Unidas
PAN – Planos de Alocação Nacional
PIB – Produto Interno Bruto
RCE – Redução Certificada de Emissão

URE – Unidades de Redução de Emissão

7. CURRÍCULO

Simone Leticia Raimundini, doutoranda em Administração, área de Sistema de Informação e Apoio à Decisão, pela Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Acesso ao Currículo Lattes:
<http://lattes.cnpq.br/5997063695557824>

Denis Borenstein, Professor do Programa de Pós Graduação em Administração da Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Acesso ao Currículo Lattes:
<http://lattes.cnpq.br/8373564643000623>



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



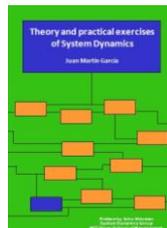
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)