

Mercado de Carbono no Brasil: analisando efeitos de eficiência e distributivos

Carbon Market In Brazil: analysing efficiency and distributional effects

Mercado de Carbono en Brasil: el análisis de los efectos de eficiencia y distributivos

Luiza Maia de Castro* e Ronaldo Seroa da Motta**

RESUMO

Desde o Protocolo de Quioto surgiram várias experiências com mercados de carbono para aumentar o custo-efetividade dos esforços de mitigação das políticas climáticas. Nesses mercados, direitos de emissão podem ser transacionados entre as fontes reguladas para a consecução das suas metas. Na ausência de custos assimétricos de transação, a alocação de direitos por fonte emissora não afeta a eficiência do mercado, mas, por outro lado, cada critério de alocação gera distinta distribuição de custos e receitas. O objetivo deste estudo é medir esses efeitos de eficiência econômica e distributivos com base num modelo de simulação de um mercado de carbono para a indústria brasileira para o período 2010-2030. Para tal, adota-se um cenário em que a meta agregada é alocada por setor na proporção das emissões setoriais atuais, e outro onde a distribuição setorial da meta agregada protege os setores com maiores custos médios de mitigação. Os resultados mostram que para a meta agregada de 30% houve uma redução de 78 a 82% do custo total de mitigação se comparado com o custo para atingir a mesma meta sem uso do mecanismo de mercado. Em termos distributivos, evidencia-se que o setor de metalurgia teve sua meta elevada para beneficiar, em particular, o setor de refino, onde os custos de abatimento são muito mais elevados. Em suma, esse exercício de simulação mostra os ganhos de eficiência de mecanismos de mercado e enfatiza a importância da natureza política no processo de definição dos critérios de alocação de direitos de emissão.

Palavras-chave: Mercado de carbono. Indústria brasileira. Eficiência. Equidade.

* Economista e Mestranda em Planejamento Energético na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Gerente de projetos da GITEC Brasil. E-mail: luizamaiadecastro@gmail.com

** Doutor em Economia pela University College London, Londres, Inglaterra. Professor de Economia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: seroadamotta.ronaldo@gmail.com. Este estudo faz parte do projeto CNPq 312736/2009-6.

Artigo recebido em agosto/2013 e aceito para publicação em setembro/2013.

ABSTRACT

Since the Kyoto Protocol several experiences with carbon markets have taken place elsewhere to enhance the cost-effectiveness of climate policies. In these markets emission rights can then be traded among regulated sources to achieve their goals. In the absence of asymmetric transaction costs, the criteria of emission rights does not affect the efficiency of the market but, on the other hand, they generates different distribution of costs and revenues. The aim of this study was to measure the efficiency and equity effects of two different criteria for allocation of emission rights based on a simulation model of a carbon market for the Brazilian industrial sector for the period 2010-2030 with a scenario in which the aggregate target is allocated by industry in proportion to the current sectoral emissions and another where sectoral target protects sectors with higher average mitigation costs. Results showed a reduction of 78-82% in total abatement cost in relation to accomplishing the same target with no market mechanism. In distributive terms the protectionist scenario showed that the metallurgy had its sectoral target raised to reduce the average costs of the others, in particular, the refining sector where abatement costs are much higher. In sum, the simulation exercises confirm the great efficiency of market instruments and emphasizes the political importance of the setting process of emission right allocation.

Keywords: Carbon market. Brazilian industry. Efficiency. Equity.

RESUMEN

Desde que el Protocolo de Kyoto fue firmado, varias experiencias con los mercados de carbono intentaron mejorar el coste-eficacia de las políticas climáticas. En estos mercados los derechos de emisión pueden ser objeto de comercio, entre las fuentes reguladas, para alcanzar sus metas. En la ausencia de costes de transacción asimétricos, la asignación de derechos de emisión por fuente no afecta la eficacia del mercado, pero, por otro lado, cada criterio de asignación genera diferentes costes de distribución e ingresos. El objetivo de este estudio fue medir los efectos de la eficiencia económica y la distribución, con base en un modelo de simulación de un mercado de carbono para la industria brasileña para el período 2010-2030, en un escenario en el que el objetivo global es asignado en proporción a las emisiones sectoriales actuales, y en otro en donde la distribución sectorial protege a los sectores con mayores costes medios de mitigación. Los resultados mostraron que, para el objetivo global de 30%, el coste total de mitigación fue reducido de 78% a 82% en comparación con el mismo objetivo sin el uso del mecanismo de mercado. En términos de distribución el sector de metalurgia tuvo su meta más elevada para beneficiar, en particular, el sector de refinación, en donde los costes de mitigación son mayores. En resumen, este ejercicio muestra la eficiencia de los mecanismos de mercado y la importancia del proceso político en la definición de criterios para la asignación de derechos de emisión.

Palabras clave: Mercado de carbono. Industria brasileña. Eficiencia. Equidad.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são causadas pela concentração de certos gases que concentram carbono (CO₂, metano, CFC etc.) na atmosfera, criando um efeito estufa ao não liberar de calor, resultando, portanto, no aquecimento do planeta. Esses gases, em grande parte, são gerados na combustão de energia fóssil, por exemplo, derivados de petróleo e carvão, ou pela supressão ou queima das florestas. Uma vez concentrados na atmosfera, a dissipação desses gases leva décadas.

A atual concentração já é preocupante, e os cientistas preveem aumentos de temperatura entre 1.8 e 4.0°C até 2100 que causariam uma alteração completa no meio ambiente em que vivemos. Isto não só aumentaria a intensidade e a frequência de eventos extremos, tais como furacões, secas e cheias, como também colocaria em risco a vida dos habitantes de grandes segmentos populacionais localizados nas costas e em ilhas. Esses desastres vão criar riscos de saúde e destruição de infraestrutura, associada ao abastecimento de água e luz e aos sistemas viário e de transporte. Muitos desses impactos já vão ocorrer antes de 2050. A agricultura será bastante afetada em regiões onde já há escassez de água, como o Nordeste brasileiro.

O desafio da mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e as grandes diferenças de custo e tecnologia entre as empresas, os setores, os agentes e os países fizeram da flexibilidade no cumprimento das metas uma característica fundamental a qualquer política que se proponha a combater as mudanças do clima. Por isso, os mecanismos flexíveis de mercado ganharam espaço nas políticas climáticas e vêm sendo implementados em diversos países do mundo.

A partir do reconhecimento da necessidade de ações urgentes para inversão na tendência de rápido crescimento das emissões de GEE, foi criada, em 1992, a Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CNUMC). Nas negociações globalizadas no âmbito da CNUMC, o mercado de carbono emergiu como um instrumento eficaz e custo-efetivo para a redução de emissões de GEE no âmbito do Protocolo de Quioto, no qual 37 países desenvolvidos¹ se comprometiam a reduzir, em conjunto, em 5,2% suas emissões em relação ao ano de 1990. Para minimizar os custos de cumprimento dessas metas foram criados instrumentos de mercado que permitiam que as reduções fossem realizadas em outros países, inclusive em países sem metas, através de mercados de direitos e/ou créditos de emissão.² O novo acordo global em desenvolvimento também mantém o mercado de carbono como um dos instrumentos para sua viabilização (ver SEROA DA MOTTA *et al.*, 2011).

Neste contexto de criação e desenvolvimento de mercados de carbono, o presente trabalho propõe uma simulação de um mercado de carbono para a indústria brasileira com o objetivo de testar as implicações em termos de eficiência econômica e

¹ Os países desenvolvidos listados no Anexo 1 da CNUMC.

² Mercados de carbono para os países do Anexo 1 e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) para transações com os países fora do Anexo 1 com o objetivo suplementar de promover o desenvolvimento sustentável. Ver Seroa da Motta (2002) para uma discussão do duplo objetivo desse mecanismo.

da distribuição dos custos e receitas, considerando dois critérios de alocação de certificados. O primeiro, em que há metas iguais para todos os segmentos industriais, e outro em que a meta para a indústria como um todo é a mesma, porém cada segmento recebe metas distintas.

No Brasil, 77% das emissões de GEE em 2005 eram provenientes de mudanças no uso do solo, enquanto a indústria, somando processos e queima de combustíveis, emitiu em 2005 cerca de 9% das emissões totais do País (BRASIL, 2010). Dado este perfil, o Brasil apresentou na 15ª Conferência das Partes uma proposta de contribuição voluntária para combater o aquecimento global através das Ações de Mitigação Nacionalmente Adequadas (NAMAs³). O País indicou suas propostas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).

A PNMC é o marco inicial da política climática do Brasil e foi instituída pela Lei n.º 12.187/2009, que estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. Ainda segundo a legislação, para alcançar os objetivos da PNMC o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de GEE, visando reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020.

A maior parte do abatimento proposto é concentrada em medidas de redução de emissões provenientes de mudanças do uso do solo, representando 24,7% do abatimento projetado, tanto para a meta de 36,1%, quanto para a de 38,9%. O restante é dividido entre os setores de Energia (6,1% e 7,7% do total de abatimento), de Agropecuária (4,9% e 6,1% do total de abatimento) e Siderurgia (0,3% e 0,4% do total de abatimento).⁴ Considerando as taxas declinantes de desmatamento ao longo dos últimos anos, alguns estudos já consideram que essa meta será perfeitamente alcançada (AZEVEDO, 2012; LA ROVERE *et al.*, 2013).

No entanto, após 2020, as políticas de mitigação serão menos baseadas nas mudanças de uso do solo e, assim, os setores produtivos aumentarão sua contribuição. Outras questões confirmam também essa tendência, tais como as que seguem:

- Os países que ainda estão desenvolvendo seus parques industriais podem fazê-lo de forma mais sustentável, o que, em geral, é mais barato que alterar uma estrutura já consolidada.
- O Brasil exporta produtos de grande intensidade energética, como aço e alumínio, entre outros. Dessa forma, a redução das emissões pode ser um fator de aumento da competitividade e uma forma de diferenciar estes produtos.
- É preciso desenvolver e passar pela curva de aprendizagem para que as tecnologias possam ser barateadas, adaptadas e criadas no País. Direcionar os investimentos de P&D para tecnologias sustentáveis pode reduzir o custo futuro de inovações.
- A existência de inúmeras opções tecnológicas de abatimento a custos baixos e até mesmo negativos no setor industrial.

³ *Nationally Appropriate Mitigation Actions.*

⁴ Ver, por exemplo, Seroa da Motta (2011).

Portanto, para que o País não fique defasado tecnologicamente, faz-se necessário preparar uma trajetória de baixo carbono e, uma vez definidas as metas dessas trajetórias, há que se desenhar instrumentos custo-efetivos e compatíveis. Uma das opções de instrumentos é a criação de mercado de carbono. E, para esse instrumento, faz-se necessário definir parâmetros, tais como: meta agregada, fontes reguladas e critérios de alocação da meta agregada entre as fontes reguladas, isto é, os direitos de emissão.

O presente trabalho propõe um modelo simples de simulação de mercado de carbono para o Brasil buscando compreender o efeito distributivo entre as fontes reguladas de critérios distintos de alocação de direitos de emissão. Neste contexto, analisamos os impactos de dois cenários de alocação de certificados distintos em um possível mercado de carbono na indústria brasileira. No primeiro cenário os segmentos têm metas iguais, e no outro as metas são diferenciadas por razões protecionistas. Com isso, o estudo visa compreender como uma política protecionista em um mercado de carbono pode afetar sua eficiência, bem como a distribuição dos ganhos e perdas gerados por esta política.

A seção seguinte sumariza a experiência internacional com mecanismos de criação de mercado. Depois, apresentamos o modelo e os procedimentos estimativos e discutimos os resultados encontrados. Ao final, têm-se algumas conclusões e recomendações.

1 MERCADO DE CARBONO

A regulação econômica ambiental visa à internalização das externalidades ambientais com mecanismos que alinhem o preço dos bens e serviços ambientais de acordo com seus custos ou benefícios sociais. Para tal, pode adotar instrumentos de tributação ou criar mercados de certificados de emissão. Caso o regulador tenha informação perfeita, ambos são equivalentes em termos da quantidade abatida e custo marginal de abatimento. Isto é, caso o regulador tenha condições de determinar o preço de equilíbrio ou a quantidade ótima de emissões permitida, ambas as opções conduziriam ao ótimo social. Quando há incerteza na mensuração das curvas de custo e benefício marginais de controle, um instrumento pode ser preferível ao outro dependendo da inclinação destas (ver, por exemplo, WEITZMAN, 1974; STAVINS, 1996). E a interpretação dessa incerteza tem motivado uma ampla discussão na literatura quanto ao melhor instrumento para a precificação do carbono (ver, por exemplo, GOULDER; PARRY, 2008; NORDHAUS, 2006; ALDYA BARRETT; STAVINS, 2003; PIZER, 2002; PARRY; WILLIAMS III, 1999).

Não obstante muitos países já possuem ou estejam implementando mercados domésticos de certificados transacionáveis de emissões, de acordo com ICAP (2013) essas iniciativas já cobrem 29 experiências, sendo 8 já em funcionamento, 9 em implementação e 12 em estudos.

A Comunidade Europeia, Austrália, Japão e, recentemente, China já estão em fase avançada de implementação. Mas a experiência mais antiga e ambiciosa é o *European Union Greenhouse Gas Emission Trading System* (EU ETS). Desde janeiro de 2005,

a Comunidade Europeia (Directive 2003/87/EC) iniciou as operações do EU ETS envolvendo vários países e setores econômicos. Este mercado já movimentou mais de 3000 MtCO₂e com valor acima de US\$ 90 bilhões (CAPOOR; AMBROSI, 2012; DEMAILLY; QUIRION, 2008), embora atualmente, com a recessão econômica europeia, que reduz a demanda por emissões, esteja praticando preços e transacionando volumes muito mais baixos.

No Brasil, já existem mecanismos de mercado de carbono para o fomento aos projetos de redução de emissão de gases de efeito estufa, no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), com a implantação de um sistema para a negociação de créditos de carbono na bolsa de mercadorias e futuros (BM&F), denominado mercado brasileiro de redução de emissões (MBRE).

Embora o MBRE tenha sido até agora restrito a créditos de projetos MDL destinados ao cumprimento das metas dos países signatários do Protocolo de Quioto, está previsto no artigo 11 da PNMC que o MBRE será operacionalizado em bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores e entidades de balcão organizado, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM), onde se dará a negociação de títulos mobiliários representativos de emissões de gases de efeito estufa evitadas e certificadas.

Ou seja, o MBRE não só adquire um escopo mais amplo que o de transacionar créditos de MDL, mas também reconhece que os volumes transacionados são títulos mobiliários. Este reconhecimento contábil é um fator importante para o estabelecimento de valor para as transações de mercado que, até a PNMC, não tinha encontrado amparo legal para que fosse assim determinado (SEROA DA MOTTA, 2011).

De acordo com Seroa da Motta (2011), a PNMC permite inclusive que as ações de mitigação dos planos setoriais possam ser implementadas também por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ou de outros mecanismos no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Essa possibilidade sinaliza que o mercado de carbono nacional poderá se comunicar com mercados de outros países ou regiões que sejam regulados pela Convenção.

1.1 O DESENHO DOS MERCADOS

Os mercados de certificados transacionáveis de emissões ou mercados de carbono são baseados na estratégia de racionar a quantidade de emissões em um determinado período. Ao contrário dos controles via preço, este instrumento parte da escolha de uma meta de controle ambiental.

Deste modo, os agentes, que antes emitiam sem nenhum controle, precisam cumprir metas determinadas pelo órgão regulador. Os participantes deste programa recebem/adquirem direitos de emitir (certificados) do órgão regulador e podem comprar adicionais ou vender seus direitos no mercado secundário. Como estes agentes possuem diferentes custos de abatimento, os certificados são negociados entre os atores até o ponto em que os agentes são indiferentes entre abater internamente e comprar o direito de emissão no mercado⁵. Assim, o preço é determinado pela oferta e demanda

⁵ Esses mercados são geralmente chamados de *cap&trade*.

por estes direitos de emitir. Em um mercado perfeito, as trocas no mercado só cessarão no ponto onde o custo marginal de abatimento se encontra com o benefício marginal deste abatimento (ICAP, 2012; BAUMOL; OATES, 1988).

No nível mais básico, o regulador responsável pelo mercado de carbono precisa definir cotas de emissões (ou seja, o que uma licença de emissão representa, e como será medida), determinar como esses direitos serão alocados aos participantes do esquema, garantir que os direitos possam ser aplicados e definir as regras para permitir a negociação (IEA, 2009).⁶

Cada economia possui diferentes perfis de emissão, bem como diferentes características econômicas. Assim, estes mercados variam em propósitos, cobertura, escopo e projeto, oferecendo, assim, diversas informações sobre a aplicação prática de um instrumento político, que é relativamente novo na política climática.

Para projetar um mercado de carbono é preciso levar em consideração diversos fatores, por exemplo, impactos na competitividade industrial, fugas de carbono, interação com outros instrumentos de política ambiental, impacto sobre emprego e renda, dentre outros. Desse modo, os impactos econômicos desta medida de mitigação devem ser considerados na escolha da meta, da cobertura do programa, da forma de alocação, do período de vigência, dentre outras importantes decisões na definição do escopo e do funcionamento deste sistema, como as metodologias de monitoramento, medição, comunicação e verificação (ICAP, 2012).

Todavia, uma vez determinada a meta, nacional ou setorial, e a cobertura do programa, isto é, os atores regulados, o preço do carbono será revelado a partir das trocas. Este preço será definido pela relação entre oferta e demanda de certificados. Dessa forma, quanto mais escassos forem os certificados, mais limitador é o programa e mais caro é o preço negociado no mercado. A eficiência ambiental deste mercado depende, em grande parte, da escolha destes parâmetros.

A partir dessas definições, entra na negociação a questão da distribuição dos certificados de direitos transacionáveis de emissão. Estes certificados podem ser distribuídos gratuitamente (*grandfathering* - GF), leiloados, ou pode ser feita uma combinação de ambos os métodos. A questão que se coloca é descobrir, em termos de eficiência, quem deve receber os direitos e como devem ser distribuídos. Assim, esta é uma questão eminentemente distributiva (OECD, 2009; IEA, 2009).

No GF, em geral, são utilizadas as emissões passadas para definir as necessidades futuras por certificados. Esta distribuição pode também estar relacionada ao que é chamado na literatura de *benchmarking*, ou seja, a determinação do número de certificados baseada em uma medida de desempenho para um determinado grupo, em geral tCO₂ por quantidade produzida. Este critério, apesar de ser em teoria

⁶ A definição comum da unidade de comércio é importante, especialmente quando os esquemas estão conectados. Em todos os esquemas aplicados ou propostos, um *allowance* ou licença representa a emissão de uma tonelada de dióxido de carbono (tCO₂) ou de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq), isto é, a quantidade equivalente de um outro gás de estufa que dá a mesma quantidade de aquecimento.

mais justo, já que considera a eficiência dos participantes, tem, exatamente no estabelecimento desse valor, sua grande dificuldade (UK ETG, 2005).

Os certificados também podem ser vendidos pelo órgão regulador através de leilões. Neste sistema, os setores regulados enfrentam custos adicionais desde o princípio do programa (BAUMOL; OATES, 1988). Com relação à eficiência e eficácia ambiental este é o método mais desejado. Isto porque esta é a forma mais direta de revelar os preços do mercado, reduzir as pressões políticas de grupos específicos e dividir os custos da regulação entre regulados e reguladores (CRAMTON; KERR, 2002; OECD, 2007; ICAP, 2012). Neste método, não cabe ao regulador calcular a necessidade de cada participante do programa. São os próprios regulados que devem formular suas projeções e seus custos de abatimento (ICAP, 2013; CRAMTON; KERR, 2002).

Em geral, os métodos de alocação gratuita, em especial o *grandfathering*, têm sido utilizados devido à menor oposição das instituições reguladas a este sistema. Para Cramton e Kerr (2002), a distribuição via leilões reduz as distorções, fornece maiores incentivos para a inovação e oferece mais flexibilidade na distribuição dos custos (CRAMTON; KERR, 2002). No entanto, mesmo esse método sendo teoricamente mais eficiente, politicamente a alocação gratuita é mais viável. Na prática, observa-se que a distribuição gratuita de direitos de emissão exige do órgão regulador mais informação do que a distribuição através de leilões.

Além disso, alocar as emissões sem cobranças implica que os custos de regulação sejam pagos pela sociedade, enquanto no sistema de leilões há a geração de receitas (CRAMTON; KERR, 2002; STAVINS, 1998).

1.2 SIMULAÇÕES DE MERCADO DE CARBONO PARA O BRASIL

No Brasil, alguns estudos analisaram simulações da imposição de metas nacionais ou setoriais e da implementação de um mercado de carbono.

Rathmann (2012) apresenta um estudo mais amplo sobre o impacto na competitividade dos setores industriais brasileiros, caso haja a implementação de políticas de restrição às emissões de GEE. O trabalho utilizou a matriz insumo-produto nacional para calcular os impactos setor a setor. Deste modo, o estudo buscou compreender como os diferentes segmentos da indústria nacional seriam afetados pela meta estabelecida para a redução das emissões de GEE.

O estudo trabalha com metas a partir de 2015 e tem como objetivo chegar a 2030 com os níveis de emissões de 2008. Foram consideradas duas opções para amenizar os impactos desta política, sendo elas a distribuição gratuita de certificados e a concessão de incentivos fiscais para a realização de investimentos em tecnologias de baixo carbono.

Deste modo, conclui-se que não necessariamente os segmentos que mais emitem, em termos absolutos, serão os mais afetados, já que outros fatores devem ser considerados, a saber: (i) altos valores agregados podem permitir que o custo seja absorvido; (ii) caso um segmento integre atividade a montante, sem metas, em sua cadeia, o custo, mesmo que representativo, pode ser dissipado. Além disso, o impacto

só será significativo em termos de perda de competitividade caso o segmento seja vulnerável ao comércio exterior.

Os resultados apontam que os segmentos mais afetados seriam, respectivamente, cimento, refino, ferro-gusa e aço, ferro-ligas e metais não ferrosos. Já os segmentos extrativo-mineral, papel e celulose e química seriam pouco impactados, tendo, porém, grande capacidade de transmissão de impactos para outras atividades. Os segmentos bebidas e alimentos, cerâmico, outras indústrias e têxtil são os mais propensos a uma política de controle de emissões com baixos impactos.

Os segmentos com maior perda de competitividade seriam os segmentos de ferro-gusa e aço, metais não ferrosos e de refino. O estudo conclui ainda que o *grandfathering* de certificados seria eficaz no curto prazo como mecanismo de transição para políticas de mitigação no longo prazo. Para o segmento de refino, o autor indica que são necessárias formas de minimizar os impactos considerando inclusive uma meta diferenciada de redução das emissões, sendo o incentivo à adoção de tecnologias de baixo carbono uma política preferencial, no curto e no longo prazos, para a manutenção da competitividade industrial brasileira, dada a vulnerabilidade externa do setor.

Piris-Cabezas e Lubowski (2010) também simularam um mercado de carbono para o Brasil com aspectos dinâmicos e incluindo custos e potenciais derivados de redução de emissões por uso do solo. Uma das principais conclusões deste estudo foi que mercados de carbono implementados tanto em nível nacional quanto internacional podem criar uma oportunidade econômica significativa para o Brasil, com potencial para financiar o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono no País. Ainda segundo o estudo, este potencial aumenta à medida que mais setores estão cobertos neste mercado. Segundo os autores, para atingir a meta de redução de 4.745 MtCO₂ entre 2010 e 2020, o custo seria de cerca de US\$ 2,43 bilhões em um programa exclusivamente voltado para a política de uso do solo. Este custo sobe para algo entre US\$ 5 e US\$ 6 bilhões, considerando só 50% das metas nacionais de redução de emissões de desmatamento e o restante cumprido nos demais setores. Este valor cai para US\$ 2,40 bilhões caso haja livre troca entre os setores.

Se este mercado for conectado com mercados internacionais, considerando um preço de US\$ 3,2 por tonelada de CO₂ (crescendo 5% ao ano), o País poderia cobrir os custos de abatimento. Para preços entre US\$ 10-US\$ 20 em 2013, o abatimento total seria de cerca de 10.419MtCO₂ entre 2010 e 2020, o que leva o País a um lucro entre US\$ 25 e US\$ 95 bilhões no período.

Embora nosso trabalho também trate das questões de eficiência analisadas nos estudos citados, nossa contribuição será a de analisar os aspectos distributivos na alocação dos direitos de emissão que até agora não foram abordados no contexto de um estudo de mercado de carbono no Brasil.

2 O MODELO DE SIMULAÇÃO

Conforme mencionado, o presente estudo tem como objetivo entender os efeitos de eficiência e distributivos entre fontes reguladas de uma meta de abatimento de emissões de gases de efeito estufa sobre o setor industrial brasileiro com duas opções de alocação gratuita de certificados, a saber: Cenário I - Simétrico e Cenário II - Protecionista. Nos dois casos, adotamos uma meta agregada de 30% para o setor industrial.

As fontes reguladas tomam suas decisões de abatimento, compra e venda de direitos de emissão comparando custos com preço de equilíbrio do mercado. Com base numa curva de custo marginal de abatimento (CCMA) que agrega as curvas de custo marginal para cada fonte regulada, a ser discutida em detalhes mais adiante, determina-se o preço de equilíbrio desse mercado para certa meta agregada. Com base na CCMA setorial, o modelo identifica para cada setor a quantidade ótima de abatimento interno e as que serão compradas e vendidas no mercado.

No Cenário I - Simétrico, todos os setores regulados têm a mesma meta de 30% de redução de emissões. No Cenário II - Protecionista, a alocação tende a proteger os setores com maior custo marginal de abatimento. Assim, no Cenário II é mantido o abatimento total de 30% do Cenário I, mas as diferenças entre os custos médios setoriais são minimizadas por um critério a ser discutido adiante. Com isso, os segmentos industriais terão custos médios mais próximos e haverá um subsídio cruzado entre os setores.

2.1 CENÁRIO I - SIMÉTRICO

Neste modelo, todos os setores industriais regulados têm o mesmo percentual de abatimento. Assim, através das trocas do mercado há uma equalização dos custos marginais de abatimento. Neste modelo, foram estabelecidas cinco grandes etapas:

1. **Determinação da meta** - cálculo da meta total (absoluta e relativa) e das metas por segmento da indústria.
2. **Identificação das opções de mitigação** - o objetivo desta etapa é determinar as medidas de mitigação que serão realizadas com a implementação do mercado, bem como quais serão aquelas realizadas para o cumprimento das metas internamente. As demais serão negociadas no mercado. As medidas implementadas serão aquelas cujos custos de abatimento por tecnologia por setor são menores que o preço de equilíbrio.
3. **Estimação do abatimento interno** - nesta etapa é calculada a quantidade de abatimento interno que é custo-efetiva, ou seja, com custo menor que o preço de equilíbrio do mercado.
4. **Estimação da oferta e demanda** - nesta etapa são calculadas as demandas dos setores em que o abatimento interno não é custo-efetivo (custo maior que preço de equilíbrio). E, também, a oferta de cada setor pela quantidade

disponível de mitigação com custos abaixo do preço de equilíbrio e que não serão necessárias para cumprir a meta no setor.

5. **Estimação dos custos** - é calculado, nesta etapa, o custo total de abatimento por setor como a soma dos seguintes componentes:

- custos das emissões realizadas internamente - custo médio das medidas adotadas multiplicado pelas quantidades de tCO₂e abatidas;
- custos da compra de certificados no mercado - preço de mercado multiplicado pela quantidade de tCO₂e comprada;
- lucro com as vendas de certificados no mercado - receita com a venda de certificados menos o custo respectivo de abatimento.

Dessa forma, o modelo estima os volumes e valores do abatimento interno das compras e vendas de direitos de emissão por setor considerando um preço de equilíbrio determinado pela meta agregada imposta à indústria.

2.2 CENÁRIO II - PROTECIONISTA

Nesse cenário, o objetivo é atingir a mesma meta agregada de 30%, reduzindo, porém, as diferenças entre os custos médios setoriais observados no Cenário I. Com isso, as metas por segmento industrial são diferenciadas e não mais iguais, como no Cenário I - Simétrico. Dessa forma, como já mencionado, ao aumentar a convergência dos custos médios está-se protegendo os setores que enfrentam maiores custos via aumento nos seus direitos de emissão e, por conseguinte, reduzindo os direitos daqueles de menor custo.

Em suma, a condição de contorno deste problema continua sendo a manutenção da quantidade abatida, ou seja, da meta total para a indústria e, por conseguinte, os respectivos preços de equilíbrio e as medidas de mitigação realizadas. Mas a função objetivo agora é a de minimizar o quadrado da diferença entre os custos médios setoriais e o custo médio total. Para tal, utilizamos o custo médio da tonelada abatida do Cenário I dado pelo somatório dos custos de abatimento interno e ofertado menos a receita com os certificados vendidos.

Para evitar soluções de canto essa minimização é restrita dentro de uma banda na qual as variações das metas setoriais podem se diferenciar. Neste estudo, apenas a título de aplicar um exercício, optou-se por uma banda onde as metas poderiam variar entre 20% e 40%. Esta banda foi definida de forma que a menor meta seja no mínimo a metade da maior meta de abatimento setorial.⁷

Partindo de alocação setorial distinta, utilizamos as mesmas premissas e rotinas descritas para o Cenário I para estimar as transações intersetoriais. E como a meta agregada é a mesma em ambos os cenários, logo também será o preço de equilíbrio.

Ao diferenciar metas setoriais, os níveis setoriais de oferta e demanda e os ganhos econômicos com o mercado de certificados serão alterados, refletindo, assim,

⁷ Note-se que cada banda geraria uma banda distinta de distribuição de certificados.

um subsídio cruzado resultante dessa abordagem protecionista. Ou seja, o nível de eficiência será o mesmo (mesma equalização de custo marginal), mas com outra distribuição de renda (custos médios setoriais distintos). Assim, o Cenário II - Protecionista procura reduzir as diferenças de custos médios setoriais e, com isso, os setores que têm menores custos poderiam contribuir mais para a redução das emissões, evitando que os setores com maiores custos figurem sobrecarregados ou menos competitivos. Neste modelo há, portanto, um subsídio cruzado entre setores de altos custos de abatimento e aqueles com grandes potenciais abaixo do preço de equilíbrio.

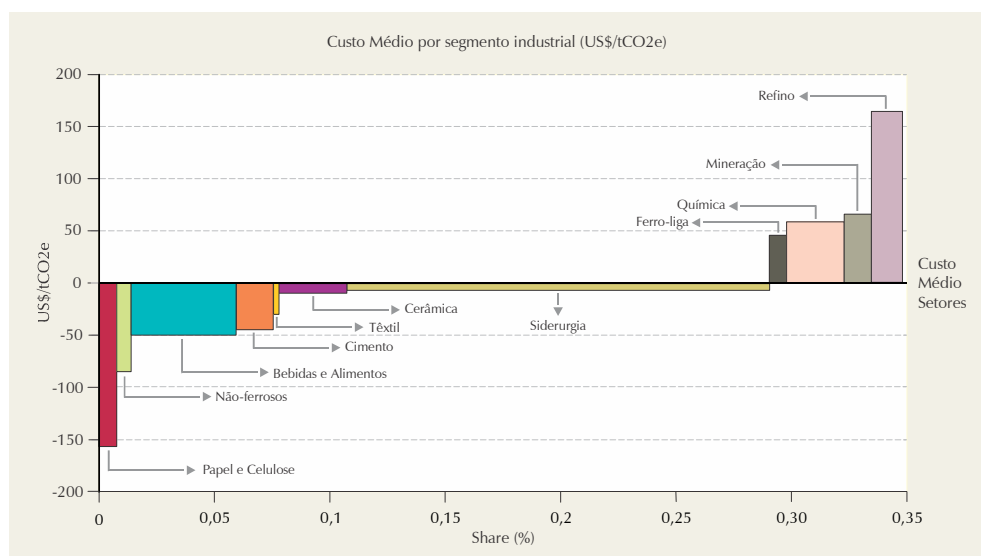
O processo estimativo do Cenário II, uma vez definidas as metas de cada setor, é o mesmo do Cenário I acima apresentado.

2.3 BASE DE DADOS

Seroa da Motta, Couto e Castro (2012) estimam curvas de custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa para a indústria brasileira corrigido com base em estimativas de Henriques Jr. (2010). O gráfico 1, a seguir, apresenta os dados agregados por setor.

Os dados para a elaboração desta curva estão listados na tabela 1.

GRÁFICO 1 - CCMA POR SEGMENTO INDUSTRIAL



FONTE: Seroa da Motta, Couto e Castro (2012), baseado em Henriques Jr. (2010)

NOTA: Elaboração dos autores.

Observa-se, no gráfico 1 e tabela 1, que há um alto potencial de abatimento com custos negativos, em torno de 22% do abatimento potencial, em particular na Siderurgia, e que, portanto, poderiam ocorrer espontaneamente.

Essas possibilidades de custos negativos não capturadas pelo mercado têm sido objeto da literatura (ver, por exemplo, KESICKI, 2009; EKINS; KESICKI;

SMITH, 2011; JAFFE; STAVINS, 1994). Seroa da Motta, Couto e Castro (2012) resumem que esses custos negativos podem ser explicados por barreiras associadas à incerteza sobre os futuros cenários de preços da energia e, por conseguinte, sobre economias reais geradas pelas medidas de mitigação, combinada à natureza irreversível do investimento em eficiência. Assim, a taxa de desconto apropriada para a análise do valor presente líquido é expressi-vamente maior que aquela normalmente utilizada nos projetos convencionais. Também há razões comportamentais que geram inércia para alterar os processos produtivos quando há perdas de externalidades de redes de conhecimentos, além de custos de capacitação para manejar a nova tecnologia e mudanças na estrutura interna, cultural e estratégica.

TABELA 1 - CUSTOS (US\$/TCO₂E) POR SETOR, MEDIDA E SHARE

SETOR	TECNOLOGIA	continua	
		CUSTO ORIGINAL (US\$/TCO ₂)	SHARE (%)
Bebidas e Alimentos	Novos processos	-998,96	0,02
Bebidas e Alimentos	Otimização da combustão	-541,53	0,11
Bebidas e Alimentos	Sistema de recuperação de calor	-519,95	0,20
Bebidas e Alimentos	Recuperação de vapor	-519,95	0,29
Papel e Celulose	Otimização da combustão	-517,57	0,35
Bebidas e Alimentos	Recuperação calor/forno	-480,87	0,47
Papel e Celulose	Recuperação de vapor	-402,08	0,60
Papel e Celulose	Novos processos	-305,72	0,65
Cerâmica	Novos processos	-243,68	0,98
Têxtil	Otimização da combustão	-197,07	0,99
Têxtil	Sistema de recuperação de calor	-191,49	1,01
Têxtil	Recuperação de vapor	-176,08	1,05
Química	Recuperação de vapor	-156,52	1,29
Química	Sistema de recuperação de calor	-151,29	1,57
Papel e Celulose	Reciclagem	-146,76	1,84
Não ferrosos	Otimização da combustão	-141,00	1,94
Química	Otimização da combustão	-134,72	2,23
Não ferrosos	Recuperação calor/forno	-129,55	2,50
Não ferrosos	Reciclagem	-129,54	2,67
Cerâmica	Otimização da combustão	-105,73	2,87
Bebidas e Alimentos	Energia solar térmica	-96,59	3,01
Mineração	Otimização da combustão	-93,69	3,15
Cerâmica	Recuperação calor/forno	-89,94	3,81
Têxtil	Outras	-88,60	3,82
Química	Recuperação calor/forno	-85,95	4,33
Ferro-ligas	Recuperação calor/forno	-83,40	4,43
Cimento	Otimização da combustão	-79,72	4,54
Mineração	Recuperação calor/forno	-78,07	5,27
Cimento	Reciclagem	-68,34	5,48
Cimento	Recuperação calor/forno	-64,24	6,47
Química	Energia solar térmica	-63,04	7,15
Bebidas e Alimentos	Cogeração	-55,86	8,89
Siderurgia	Reciclagem	-54,81	9,79
Siderurgia	Otimização da combustão	-49,86	10,97
Siderurgia	Recuperação calor/forno	-44,89	13,43
Siderurgia	Outras	-31,01	13,82
Cerâmica	Reciclagem	-24,32	14,20
Siderurgia	Cogeração	-2,70	14,31
Siderurgia	Substituição biomassa não renovável	-1,73	21,60
Papel e Celulose	Cogeração	-0,44	21,70
Bebidas e Alimentos	Substituição fóssil por biomassa	6,07	21,81

TABELA 1 - CUSTOS (US\$/TCO₂E) POR SETOR, MEDIDA E SHARE

SETOR	TECNOLOGIA	CUSTO ORIGINAL (US\$/TCO ₂)	conclusão
			SHARE (%)
Papel e Celulose	Substituição fóssil por biomassa	11,65	21,91
Siderurgia	Substituição fóssil por biomassa	19,17	23,98
Têxtil	Substituição biomassa não renovável	39,16	24,14
Bebidas e Alimentos	Substituição biomassa não renovável	42,60	26,17
Cerâmica	Substituição biomassa não renovável	42,60	29,06
Refino	Sistema de recuperação de calor	44,06	30,10
Química	Substituição biomassa não renovável	45,11	30,11
Siderurgia	Novos processos	55,83	32,48
Ferro-ligas	Substituição biomassa não renovável	58,70	33,25
Cimento	Substituição biomassa não renovável	61,61	33,52
Não ferrosos	Substituição biomassa não renovável	61,61	33,53
Não ferrosos	Substituição GN	142,87	33,65
Têxtil	Substituição GN	150,03	33,66
Siderurgia	Substituição GN	154,07	33,68
Cimento	Substituição GN	157,33	33,69
Ferro-ligas	Substituição GN	164,43	33,70
Papel e Celulose	Substituição GN	204,16	33,78
Bebidas e Alimentos	Substituição GN	293,20	33,85
Cerâmica	Substituição GN	418,54	33,90
Mineração	Substituição GN	533,62	34,17
Refino	Outras	612,44	34,45
Química	Substituição GN	959,29	34,80
	Custo agregado	-4934601665,67	
	Custo médio	-2,94	
	Share original abatido a custos negativos (%)	0,22	

FONTE: Seroa da Motta, Couto e Castro (2012), baseado em Henriques Jr. (2010)

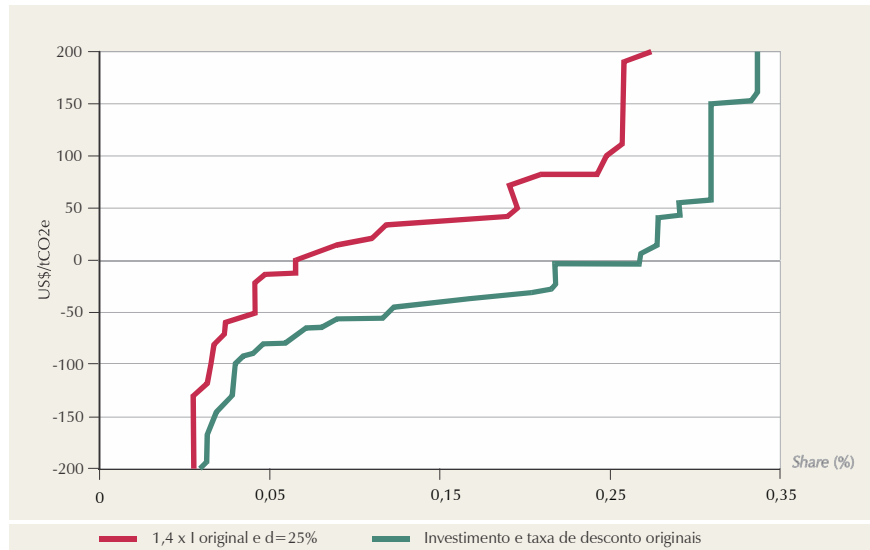
As diferenças nas safras de capital e a dispersão territorial da indústria brasileira tendem a criar um alto grau de heterogeneidade entre os custos de abatimento para uma mesma tecnologia. Desse modo, os valores dos investimentos e da eficiência do abatimento podem apresentar uma larga dispersão e, assim, estimativas médias com poucas observações não são capazes de capturar a média dos procedimentos.

Para mitigar esses vieses de subestimação, Seroa da Motta, Couto e Castro (2012) usam uma taxa de desconto de 25% para lidar com a incerteza, muito superior à taxa original de 8% das estimativas originais. Para capturar heterogeneidade, utilizou-se, *ad hoc*, um aumento no valor do investimento de 40%. A curva ajustada é apresentada no gráfico 2 e comparada com a original.

Como se verifica no gráfico 2, a nova curva apresenta custos consideravelmente mais altos que a curva anterior e com um menor segmento de custos negativos. Esse segmento negativo, de fato, reduz-se de 22% para aproximadamente 8% do potencial de abatimento estimado. Nos exercícios de simulação aqui realizados usaremos os valores dessa curva ajustada.

Como apresentado anteriormente, as economias geradas pelo mercado nos setores regulados são dadas pelo somatório da diferença entre os custos de realizar o abatimento inteiro internamente e aqueles incorridos no mercado. Quando, para um determinado setor, a quantidade de abatimento exigida extrapolava a estimada nessa curva considerou-se que os custos desse segmento se manteriam constantes, ou seja, o custo de qualquer abatimento superior aos níveis apresentados no gráfico 2 para cada setor é igual ao custo da sua medida mais cara.

GRÁFICO 2 - CCMA AJUSTADA



FONTE: Seroa da Motta, Couto e Castro (2012)

3 RESULTADOS

Na tabela 2, a seguir, comparam-se os resultados encontrados para o Cenário I - Simétrico e Cenário II - Protecionista:

TABELA 2 - RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE CENÁRIOS

SETORES	CENÁRIO I - SIMÉTRICO (METAS IGUAIS)			CENÁRIO II - PROTEcionista (METAS DIFERENTES)		
	Metas Setoriais (%)	Custo Total sem Mercado (US\$ milhões)	Custo Total com Mercado (US\$ milhões)	Metas Setoriais (%)	Custo Total sem Mercado (US\$ milhões)	Custo Total com Mercado (US\$ milhões)
Bebidas e Alimentos	30	-2.974	-14.667	22	-4.408	-19.001
Papel e Celulose	30	19.663	-104	21	-2705	-2.948
Textil	30	386	300	20	117	-154
Não ferrosos	30	13.012	13.012	22	7.191	7.191
Química	30	48.639	15.097	24	23.976	7.368
Cerâmica	30	1	-24.456	23	-1.836	-31.161
Mineração	30	15.370	8.635	22	6.005	3.380
Cimento	30	2.827	2.827	22	-598	-3.610
Siderurgia	30	20.892	13.475	37	201.534	64.165
Refino	30	165.161	49.109	25	130.746	41.295
Ferro-liga	30	2.327	-623	21	1.480	-2.965
TOTAL	30	285.304	62.605	30	361.502	63.560

FONTE: Os autores

Antes de analisar os resultados da tabela 2, note-se que os custos totais apresentados incluem, tal como descrito na seção 1, que descreve o modelo, os custos do abatimento realizado internamente mais os custos de compra de certificados e o lucro da venda de certificados.

Observa-se, na tabela 2, que em ambos os cenários os setores bebidas e alimentos, papel e celulose, cerâmica, cimento e ferro-liga conseguem atender suas metas com custos negativos.

Verifica-se, também, na primeira coluna da tabela, que as metas setoriais no Cenário II, tal como esperado, variam dentro da banda adotada entre 20 e 40%, ou seja, não são mais iguais a 30%, como no Cenário I. Note-se que todos os setores tiveram sua meta reduzida para baixo de 30% e só a siderurgia teve sua meta aumentada para 37%. Esta transferência foi motivada pela capacidade deste setor em realizar um volume muito grande de abatimento a custos menores que os outros setores, tal como se mostrou na tabela.

Os resultados apresentados na tabela 2 indicam que os custos totais de toda a indústria se alteram com cada cenário. Já com o mercado o custo marginal se equaliza entre setores e, portanto, os custos totais são equivalentes (as diferenças que aparecem na tabela se devem às aproximações numéricas).

Observa-se, primeiramente, que o instrumento de mercado permite uma significativa redução de custo total entre 78 e 82% em relação aos custos sem mercado. Ou seja, a criação de mercado gera um grande ganho de eficiência para atingir as metas de redução. Em termos distributivos, todos os setores tiveram expressivas reduções de custos nos dois cenários de mercado.

Entretanto, esses ganhos setoriais de redução de custo variam, conforme esperado, de acordo com cada cenário de alocação, gerando custos setoriais distintos. No cenário simétrico, com metas iguais, destaca-se o setor Refino, o qual, embora corresponda apenas a 12% do abatimento total, acaba por corresponder a 78% dos custos do mercado. No Cenário II, com metas distintas, esse setor é o mais privilegiado, com seus custos totais reduzidos em quase um terço. Em contrapartida, o setor de siderurgia quase que triplica seus custos totais. Os setores com custos totais negativos também se beneficiam com aumento no lucro de venda de certificados para a siderurgia. Ou seja, o subsídio cruzado no Cenário Protecionista realizou-se todo através da siderurgia e, assim, há uma clara transferência do setor de Siderurgia para outros setores.

Em suma, é possível verificar que o mercado de carbono é um instrumento que gera uma significativa redução de custos de abatimento no enfrentamento das mudanças climáticas, e que a alocação dos direitos de emissão pode ser um grande instrumento de políticas protecionistas e, portanto, de criação de subsídios cruzados entre os setores cobertos pelos programas.

Vale ressaltar que nossos resultados estão diretamente dependentes das estimativas de custos de abatimento que adotamos e, portanto, podem se alterar caso essas estimativas sejam alteradas.

De qualquer forma, embora nenhum outro estudo para o Brasil discuta aspectos distributivos, nossos resultados nos aspectos de eficiência de certa forma se alinham com os estudos anteriores que simulam o mercado de carbono no Brasil com esse objetivo. As estimativas de Piris-Cabezas e Lubowski (2010), por não desagregarem a indústria e incluírem opções florestais na sua simulação,

não permitem uma comparação direta, mas os autores também concluem que a implementação de mercados de carbono no País resultaria em redução significativa nos custos de mitigação.

Já o trabalho de Rathmann (2010) simula um mercado restrito à indústria, tal como o estudo aqui desenvolvido, com metas iguais para todos os setores. Seus resultados apontam que os segmentos Cimento, Ferro-gusa e Aço, Ferro-Liga, Não Ferrosos e Refino de petróleo seriam os mais impactados pela deterioração do seu valor adicionado no longo prazo. Todavia, com os ganhos de eficiência do mercado de carbono, a perda de competitividade se restringiria aos segmentos de Refino e Siderurgia, tal como os resultados encontrados na nossa simulação.

Em suma, o exercício de simulação de mercado de carbono aqui apresentado mostra como o mercado de carbono pode gerar uma redução significativa nos custos de abatimento, como no caso aqui analisado da indústria brasileira. E, acima de tudo, procuramos mostrar como o critério de alocação inicial de licenças, embora não afete as condições de eficiência, acaba gerando efeitos distributivos e, assim, será sempre uma escolha com alto componente político.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O princípio que orienta as políticas econômicas ambientais parte de Pigou (1920) com o conceito de externalidade. Externalidades podem ser definidas como distorções de mercado, em que as decisões de um agente afetam a produção/bem-estar de outros que não participaram da decisão (BAUMOL; OATES, 1988).

O uso de recursos/serviços ambientais gera externalidades intra e intertemporais. Estas podem afetar agentes/bens públicos ou privados, com muitos ou poucos atores envolvidos. A poluição atmosférica, em especial a emissão de GEE, é um exemplo de externalidade negativa que afeta a todos independentemente da contribuição para o processo de acúmulo dos gases na atmosfera (SEROA DA MOTTA, 2006).

A partir do reconhecimento da necessidade de ações urgentes para inversão na tendência de rápido crescimento das emissões de GEE foi criada, em 1992, a Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Esta declaração não estabeleceu metas claras de abatimento ou traçou caminhos para alcançar os objetivos almejados. Porém, desse processo de negociação nasceram algumas orientações determinantes para os futuros acordos, como o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, o direito ao desenvolvimento sustentável e a necessidade de proteger os sistemas climáticos para as gerações futuras (ver seção 1).

Neste contexto, os mercados de certificados transacionáveis de emissões de GEE surgem como um dos importantes instrumentos no processo de descarbonização da economia. Conforme apresentado na seção 2, os mercados de carbono são baseados na estratégia de racionar a quantidade de poluentes emitida em um determinado período. Ao contrário dos controles via preço, esse instrumento parte da escolha de uma meta de controle ambiental (BAUMOL; OATES, 1988; WB, 2012).

Essa restrição faz com que os atores tenham que apresentar certificados que lhes permitam emitir uma quantidade de poluentes em um determinado período de tempo. Ao contrário dos instrumentos econômicos baseados em controle de preços, como, por exemplo, as taxas sobre as emissões de poluentes, um sistema de certificados transacionáveis de emissão requer que as autoridades reguladoras determinem um teto ou uma meta de abatimento para as emissões, a partir de uma linha de base. Os participantes deste mercado compram ou recebem uma determinada quantidade de certificados e podem vender ou comprar os certificados sobressalentes ou necessários para atingir suas metas.

Muitos países já adotam este instrumento de mercado para alcançar com flexibilidade as metas de controle de GEE acordadas. Cada país possui diferentes perfis de emissão, bem como diferentes características econômicas. Assim, estes mercados variam em propósitos, cobertura, escopo e projeto, oferecendo diversas informações sobre a aplicação prática de um instrumento político que é relativamente novo na política climática.

No desenho do escopo deste mercado, decisões sobre a determinação das metas e da forma de alocação dos certificados têm implicações sobre a distribuição dos ônus e dos bônus desse mercado, bem como sobre sua eficiência.

Neste trabalho, tentou-se captar estes efeitos para um mercado de carbono brasileiro. Para compreender como poderia funcionar este mercado na indústria nacional, foram propostos neste trabalho dois modelos de distribuição. Para elaborar este modelo foi utilizada a CCMA elaborada pelo Banco Mundial (2010) e ajustada por Seroa da Motta, Couto e Castro (2012). Assim, os cálculos foram realizados com o intuito de testar as implicações distributivas e eficiência de mercado.

No Cenário I - Simétrico, foi proposto que todos os segmentos da indústria tivessem uma meta igual de 30% de redução de emissões em relação ao cenário base. O preço da tonelada de carbono negociada ficou em torno de US\$ 301/tCO₂e e apenas 20% dos certificados seriam transacionados no mercado. Este mercado teria, basicamente, três setores demandantes: Refino, Química e Não Ferrosos, e três setores ofertando – Cerâmica, Siderurgia e Bebidas e Alimentos.

Assim, as receitas líquidas com mercado somariam 76 bilhões de dólares ao longo dos 20 anos do estudo. Deste total, o setor de Cerâmica representaria cerca de 44% da receitas, seguido pelos setores de Siderurgia, com 28%, e Bebidas e Alimentos, com 20%. Por sua vez, as economias geradas pelo mercado somaram 176 bilhões de dólares no mesmo período, com a participação de 66% deste total para o Refino, 20% para a Química e 11% para o setor de Papel e Celulose. Deste modo, observa-se que as economias são consideravelmente maiores que as receitas geradas. O custo total deste mercado seria de 62 bilhões de dólares por ano, contra 285 bilhões de dólares caso os setores tivessem que abater toda essa meta internamente.

Para o Cenário II - Protecionista, foi mantida a meta agregada para a indústria de 30%. No entanto, as metas por segmento poderiam variar em uma banda de 20% a 40%. Para fazer a redistribuição dos direitos, foram calculados, para cada segmento, os custos médios por tCO₂ e no Cenário I, além do custo médio agregado.

Em seguida, foi realizada uma função de minimização cujo objetivo era minimizar o quadrado da diferença entre os custos médios por segmento e os custos médios agregados através da redistribuição das metas.

Neste Cenário II - Protecionista, apenas o setor siderúrgico teve sua meta aumentada para 37%, enquanto os demais setores tiveram suas metas reduzidas. Assim, a Siderurgia passa a subsidiar o abatimento dos demais setores.

Por definição, o preço de equilíbrio, a quantidade abatida e as medidas de mitigação realizadas são as mesmas que no cenário anterior. No entanto, há uma alteração nos fluxos de certificados. Nesse cenário, há uma pequena diminuição nas transações do mercado, que passam a corresponder a 18% do total de certificados, e as receitas líquidas com a venda deste também são reduzidas a 52 bilhões de dólares no período.

Os setores que mais ofertam são: Cerâmica (com mais de 50% da oferta), Bebidas e Alimentos (com cerca de 30%), Ferro-Liga (9%) e a participação menor de setores como Têxtil, Papel e Celulose e Cimento. Do lado da demanda, o setor de Siderurgia passa o Refino e torna-se o maior demandante, com cerca de 38% do mercado, contra 35% do setor Refino. Os outros 27% são divididos entre os setores de Não Ferrosos, Química e Mineração.

As economias deste cenário são ainda maiores que em relação ao Cenário I. Isto se deve, basicamente, ao grande aumento de custo, sem mercado, observado para o setor de Siderurgia, já que os demais setores têm redução dos seus custos, sem mercado, com a redução das metas. Assim, as economias advindas desta política chegam a 285 bilhões de dólares em 20 anos. Neste Cenário II os custos totais são de 62 bilhões de dólares, iguais aos do Cenário I, mas os custos sem mercado aumentam em 27% em relação ao Cenário I.

Assim, é possível observar que essas políticas protecionistas podem ser utilizadas tanto para penalizar quanto para privilegiar setores. No caso da política proposta neste trabalho, as economias geradas pelo mercado em ambos os cenários são superiores aos custos e receitas gerados por esta política de restrições de emissões. No segundo cenário há uma redução nas metas de todos os setores, exceto o siderúrgico, que passa a ter uma meta superior aos demais. Este tipo de análise, bem como outros estudos sobre os impactos no emprego, na renda e na concorrência, precisam ser realizados antes do desenho do escopo deste tipo de política com diferenciação de obrigações.

Para estudos similares no futuro, será importante contar com:

- curvas de custo marginais de abatimento mais detalhadas, com a inclusão de outras atividades (uso do solo, agricultura e transportes). Deste modo, um trabalho que incorpore estes setores pode apresentar mais informações sobre os possíveis impactos de um mercado de carbono no Brasil;
- transações com outros mercados internacionais. O Modelo apresentado não considerou a possibilidade de integração com mercados internacionais, que pode ser vantajosa para o País;

- rotinas de simulação que incluam estimativas de custos de transação, gerando, com isso, informações sobre quais os setores em que os custos de transação são demasiadamente altos e que, portanto, podem ter tratamento diferenciado;
- mecanismo de compra antecipada (*banking*). Como o modelo apresentado apontou somente uma iteração, não foi possível analisar como funcionaria um mercado de carbono com mais de um período de compromisso;
- vinculado ao tópico anterior, seria interessante propor modelos com processos iterativos dinâmicos, para que os resultados sejam mais realistas e o escopo das políticas propostas mais adequado aos seus objetivos econômicos e ambientais.

Por último, vale lembrar que o mercado *per se* não é o objetivo da transição para uma economia de baixo carbono. Ele é apenas um instrumento que maximiza a eficiência das metas ambientais que uma economia deseja atingir. Além de reduzir os custos econômicos, mecanismos de mercado ainda oferecem oportunidades para atuar na equidade nesses esforços para a consecução dessas metas. Este estudo procurou, embora de forma simplificada, demonstrar esses aspectos de eficiência e distributivos simulando um mercado de carbono no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALDYA, J. E.; BARRETT, B.; STAVINS, R. N. Thirteen plus one: a comparison of global climate policy architectures. **Climate Policy**, Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers, v.3, n.4, p.373-397, 2003.
- AZEVEDO, T. R. **Estimativas de emissões de gases de efeito estufa no Brasil: 1990-2011**. Mimeo, 2012.
- BANCO MUNDIAL. **Estudo de cenários de baixo carbono para o Brasil**. Brasília, 2010.
- BAUMOL, W. J.; OATES, W. E. **The theory of environmental policy**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- BRASIL. Lei n.º 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a política sobre mudança do clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 9 ago. 2010.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Segunda comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, 2010.
- CAPOOR, K ; AMBROSI, P. **State and trends of the carbon market**. Washington, DC: World Bank, 2012.
- CRAMTON, P.; KERR, S. Tradable carbon permit auctions: how and why to auction not grandfather. **Energy Policy**, England: Butterworth Scientific, v.30, n.4, p.333-345, 2002.
- DEMAILLY, D.; QUIRION, P. European emission trading scheme and competitiveness: a case study on the iron and steel industry. **Energy Economics**, England: IPC Science and Technology Press, v.30, n.4, p.2009-2027, 2008.

EKINS, P.; KESICKI, F.; SMITH, A. **Marginal abatement cost curves**: a call for caution. London, UK: UCL Energy Institute, Apr. 2011.

GOULDER, L. H.; PARRY, I. W. H. Instrument choice in environmental policy. **Review of Environmental Economics and Policy**, Oxford, UK: Oxford University Press, v.2, n.2, p.152-174, 2008.

HENRIQUES JUNIOR, M. F. **Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro**. 340p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INTERNATIONAL CARBON ACTION PARTNERSHIP (ICAP). **Interactive ETS map**. 2013. Disponível em: <http://icapcarbonaction.com/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=147>. Acesso em: jan. 2013.

INTERNATIONAL CARBON ACTION PARTNERSHIP (ICAP). **Summer course**: introductory reading. Costa Rica, 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Sectoral approaches in electricity**: building bridges to a safe climate. Paris: OECD, 2009.

JAFFE, A. B.; STAVINS, R. N. The energy-efficiency gap: what does it mean? **Energy Policy**, England: Butterworth Scientific, v.22, n.10, p.804-810, 1994.

KESICKI, F. **Marginal abatement cost curves for policy making** – expert-based vs. model-derived. London, UK: UCL Energy Institute, 2009.

KUIK, O.; BRANDER, L.; TOL, R. S. J. Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: a meta-analysis. **Energy Policy**, England: Butterworth Scientific, v.37, n.4, p.1395-403, 2009.

LA ROVERE, E.L. *et al.* Brazil beyond 2020: from deforestation to the energy challenge. **Climate Policy**, London, UK: Taylor & Francis, v.13, n.1, p.70-86, 2013.

MCKINSEY & COMPANY. **Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil**. New York, USA, 2009a.

MCKINSEY & COMPANY. **Pathways to a low carbon economy**. New York, USA, 2009b.

NORDHAUS, W. After Kyoto: alternative mechanisms to control global warming. **American Economic Review**, Nashville, Tenn., USA: American Economic Association, v.96, n.2, p.31-34, 2006.

PARRY, I. W. H.; WILLIAMS III, R.C., A second-best evaluation of eight policy instruments to reduce carbon emissions. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers, v.21, n.3-4, p.347-373, 1999.

PIRIS-CABEZAS, P.; LUBOWSKI, R. **Preliminary modeling of cap and trade scenarios in Brazil**. Rio de Janeiro, 2 ago. 2010. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-423.pdf>>. Acesso em: jan. 2013.

PIZER, W. A. Combining price and quantity controls to mitigate global climate change. **Journal of Public Economics**, Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers, v.85, p.409-434, 2002.

RATHMANN, R. et al. **Sistema brasileiro de cap-and-trade no setor industrial: vantagens, desafios, reflexos na competitividade internacional e barreiras à implementação.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

RATHMANN, R. **Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil.** 412p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SEROA DA MOTTA, R. A política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança. In: MOTTA, R. S. da et al. (Ed.). **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios.** Brasília: IPEA, 2011.

SEROA DA MOTTA, R. **Economia ambiental.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

SEROA DA MOTTA, R. Social and economic aspects of CDM options in Brazil. **International Journal of Global Environmental Issues**, Suíça: Inderscience Enterprises, v.2, n.3/4, p.310-321, 2002. Special issues on opportunities for developing countries.

SEROA DA MOTTA, R.; COUTO, L. C.; CASTRO, L. **Curvas de custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa no Brasil: resenha e oportunidades de mitigação.** Brasília: IPEA, out. 2012. (Texto para discussão, 1781).

STAVINS, R. N. Correlated uncertainty and policy instrument choice. **Journal of Environmental Economics and Management**, Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers, v.30, p.218-232, 1996.

STAVINS, R. N. What can we learn from the grand policy experiment? lessons from SO₂ allowance trading. **The Journal of Economic Perspectives**, Nashville, Tenn., USA: American Economic Association, v.12, n.3, p.69-88, 1998.

THE ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Instrument mixes for environmental policy.** Paris, 2007.

THE ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **The economics of climate change mitigation: policies and options for global action beyond 2012.** Paris, 2009.

UK EMISSIONS TRADING GROUP (ETG). **EU Emissions Trading Scheme: review of grandfathering and benchmarking allocation methodologies for phase II.** London, 2005. WG5/6 Paper. Disponível em: <<http://www.etg.uk.com/documents/Grandfathering%20and%20Benchmarking.pdf>>. Acesso em: jan. 2013.

WEITZMAN, M. L. Prices vs Quantities. **Review of Economic Studies**, Bristol, England: Tieto, v.41, n.4, p.477-491, 1974.

WORLD BANK. **State and trends of the carbon market 2012.** Germany, 2012. Disponível em: <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/ENVIRONMENT/EXTCARBONFINANCE/0,,contentMDK:23206428~menuPK:5575595~pagePK:64168445~piPK:64168309~theSitePK:4125853~isCURL:Y,00.html>>. Acesso em: jan. 2013.