

DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA AGRICULTURA BRASILEIRA DE BAIXO CARBONO

Angelo Costa Gurgel
Roberto Domenico Laurenzana

1 A AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL

A agricultura de baixa emissão de carbono é aquela capaz de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) provenientes da atividade agropecuária através de práticas agrícolas e tecnologias capazes de diminuir a intensidade de emissões. Um exemplo simples de prática de redução de emissões na agropecuária seria a implantação de biodigestores e equipamentos para tratamento de dejetos em atividades de suinocultura, de forma a capturar e queimar o gás metano, permitindo que esta atividade reduza seus impactos em termos de emissões de gases de efeito estufa.

No Brasil, a agricultura de baixa emissão de carbono pode ser justificada tanto pela necessidade de reduzir a contribuição que o setor tem nas emissões totais de gases de efeito estufa do país, quanto pela percepção de que as mudanças climáticas possam provocar impactos consideráveis no setor, trazendo desafios ao seu crescimento. No que diz respeito às emissões, de acordo com as estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa no Brasil (Brasil, 2014), o setor agropecuário respondeu por 37% das emissões totais em 2012, figurando, junto com o setor de energia, como o maior emissor setorial.

A ideia de uma agricultura de baixa emissão de carbono no Brasil ganhou visibilidade a partir do compromisso assumido pelo país no âmbito das negociações globais relativas ao tema. Nesse sentido, o Brasil vem historicamente se antecipando e assumindo papel de protagonista no contexto global nas discussões sobre mitigação da mudança do clima. Foi o primeiro país, entre os 150 países signatários, a assinar a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), considerado um dos instrumentos multilaterais mais equilibrados, universais e relevantes da atualidade, reconhecendo que os efeitos da aceleração das mudanças climáticas representam preocupação compartilhada por toda a humanidade.

Na ocasião, os países signatários da CQNUMC decidiram subscrever o objetivo final de estabilizar as concentrações de gases efeito estufa na atmosfera

em um nível que controlasse a interferência provocada pelo homem no sistema climático. O Brasil é um dos países emergentes que não foram obrigados a fixar metas de redução de emissões de GEE em acordos internacionais, como, por exemplo, no Protocolo de Kyoto. Entretanto, o país apresentou um conjunto de ações voluntárias, denominadas Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (*Nationally Appropriate Mitigation Actions – Namas*), estabelecidas para diminuir suas emissões de GEE, durante a realização da 15ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP-15), em Copenhague, Dinamarca.

Durante a conferência, o governo brasileiro estabeleceu um compromisso de redução entre 36,1% e 38,9% de suas emissões de GEE, em relação às emissões brasileiras projetadas até 2020. Para tal, propôs inicialmente um programa de ações voluntárias com a finalidade de:

- reduzir em 80% e 40% a taxa de desmatamento na Amazônia e no Cerrado, respectivamente;
- adotar, na agricultura, a recuperação de pastagens degradadas; promovendo práticas como a integração lavoura-pecuária (iLP);
- ampliar o uso do Sistema Plantio Direto (SPD) e da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); e
- aumentar a eficiência energética, o uso de bicompostíveis, a oferta de hidrelétricas e de fontes alternativas de biomassa, de energia eólica e de pequenas centrais hidrelétricas, assim como expandir o uso de carvão de florestas plantadas, na siderurgia.

Posteriormente, outras ações foram incorporadas nos compromissos relativos à agropecuária. Essas ações foram: adotar sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); ampliar os sistemas agroflorestais (SAF); e intensificar o processamento e tratamento de dejetos animais.

Os compromissos assumidos em 2009 na COP-15 foram ratificados no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – também chamado Plano ABC, ou Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono –, um dos vários planos setoriais elaborados de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010 (Brasil, 2010a). Tal plano possui a finalidade de organizar o planejamento das ações a serem realizadas para aumento da adoção das tecnologias sustentáveis de produção, selecionadas para compor os compromissos da agropecuária.

Durante a elaboração do Plano ABC, buscou-se mapear o potencial de mitigação por redução de emissão de GEE, determinando-se metas para a adoção das ações relacionadas na tabela 1.

TABELA 1
Metas e potencial de mitigação por fonte de redução de emissão de GEE

| Processo ou tecnologia | Compromisso | Potencial de mitigação (milhões Mg CO ₂ eq) ¹ |
|--------------------------------------|-------------------------------|---|
| Recuperação de pastagens degradadas | 15 milhões de ha | 83 a 104 |
| Integração lavoura-pecuária-floresta | 4 milhões de ha | 18 a 22 |
| Sistema plantio direto | 8 milhões de ha | 16 a 20 |
| Fixação biológica de nitrogênio | 5,5 milhões de ha | 10 |
| Florestas plantadas | 3 milhões de ha | - |
| Tratamento de dejetos animais | 4,4 milhões de m ³ | 6,9 |
| Total | | 133,9 a 162,9 |

Fonte: Brasil (2012b).

Nota: ¹ CO₂ equivalente (eq) é uma medida que permite comparar os diferentes GEEs segundo uma mesma métrica, considerando o potencial de aquecimento global dos diferentes tipos de GEEs ponderados em relação ao mesmo potencial do gás CO₂ (IPCC, 2006).

Cada uma dessas metas compõe um dos seis programas do Plano ABC, sendo um sétimo programa destinado a ações de adaptação às mudanças climáticas. A estratégia do Plano ABC é promover sistemas diversificados e o uso sustentável da biodiversidade e dos recursos hídricos, com apoio ao processo de transição, organização da produção, garantia de geração de renda, pesquisa (recursos genéticos e melhoramento, recursos hídricos, adaptação de sistemas produtivos, identificação de vulnerabilidades e modelagem), entre outras iniciativas.

O Plano ABC tem abrangência nacional e seu período de vigência é de 2010 a 2020, sendo previstas revisões e atualizações em períodos regulares não superiores a dois anos, para readequá-lo às demandas da sociedade, às novas tecnologias e à incorporação de novas ações e metas, caso se faça necessário. Para o alcance dos objetivos traçados pelo Plano ABC, os projetos agropecuários visando a adoção das práticas e tecnologias da tabela 1 devem ser financiados com fontes orçamentárias ou por meio de linhas de crédito. O Plano ABC conta com uma linha de crédito específica – o Programa ABC – aprovada pela Resolução do Banco Central nº 3.896, de 17 de agosto de 2010.

O Programa ABC foi criado na Safra 2010/2011 e instituído inicialmente com recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Desde o ano safra 2011/2012, conta também com recursos da Caderneta de Poupança Rural (MCR 64) do Banco do Brasil e dos fundos constitucionais. As operações no âmbito do Programa ABC, com recursos do BNDES, são realizadas de forma indireta, ou seja, através da parceria com instituições financeiras credenciadas e que abrange grande parte dos bancos brasileiros.

Operacionalmente, o BNDES repassa os recursos financeiros a bancos comerciais, sejam públicos ou privados, a agências de fomento e a cooperativas

credenciadas, instituições que figuram como agentes financeiros e responsáveis por toda a análise, aprovação do crédito e definição das garantias junto aos clientes, além de assumirem o risco das operações. Após a aprovação pela instituição, a operação é encaminhada para homologação e posterior liberação dos recursos por parte do BNDES.

O público-alvo pode ser produtores rurais, como pessoas físicas ou jurídicas, e cooperativas de produtores rurais, neste caso, permitindo inclusive o repasse dos recursos a seus associados. Os itens financiáveis, desde que vinculados aos programas relacionados na tabela 1, incluem a elaboração de projeto e assistência técnica durante a implementação deste, aquisição e aplicação de sementes, mudas, insumos e corretivos agrícolas, práticas conservacionistas, aquisição de animais, de máquinas e implementos, construção e modernização de benfeitorias e instalações, entre outros.

Ainda, o Programa ABC permite que uma parcela máxima de 35% a 45% dos recursos financie a recuperação de áreas de preservação permanente e de reserva legal. Essas ações, apesar de não serem previstas no Plano ABC, são capazes de reduzir emissões pelo sequestro de carbono na vegetação e potencializar a produção agropecuária sustentável. Atendem a uma demanda importante de fontes de recursos para a regularização ambiental diante das exigências no Código Florestal. Entende-se, portanto, que o Programa ABC é, potencialmente, uma importante fonte de financiamento não apenas para as tecnologias e práticas de redução de emissões na agropecuária, mas também para a recuperação de áreas de proteção permanentes (APPs), visando salvaguardar o meio ambiente e os recursos naturais existentes nas propriedades.

2 O PAPEL DA AGROPECUÁRIA NOS COMPROMISSOS BRASILEIROS PARA O PERÍODO 2020-2030

Na 21ª Conferência das Partes (COP-21), em dezembro de 2015, em Paris, o Brasil assumiu metas mais ambiciosas que as vigentes na Política Nacional de Mudança do Clima. Essas metas definiram o compromisso de cortar, a partir de 2020, as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e em 43% até 2030 em relação às emissões observadas em 2005. Diferentemente das metas assumidas na COP-15, os objetivos da COP-21 foram relativos a um ano específico, o que torna as suas metas mais precisas, já que não dependem da projeção hipotética de uma linha de base das emissões futuras.

Junto ao anúncio das metas gerais de redução em emissões, o país associou seu compromisso ao desenvolvimento nas seguintes ações:

- acabar com o desmatamento ilegal;

- restaurar 12 milhões de hectares de florestas;
- recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas;
- integrar 5 milhões de hectares de lavoura-pecuária-florestas;
- garantir 45% de fontes renováveis no total da matriz energética, sendo 66% de participação da fonte hídrica na geração de eletricidade e 23% de participação de fontes renováveis (eólica, solar e biomassa);
- aumentar em 10% a eficiência elétrica; e
- aumentar em 16% a participação de produtos da cana-de-açúcar no total da matriz energética.

Dentre essas ações, destaca-se a ampliação das práticas de recuperação de pastagens e de integração lavoura-pecuária-floresta, já presentes no Plano ABC. Isso significa que a agropecuária continuará com uma responsabilidade relevante nos esforços do país em direção à uma economia de baixa emissão de carbono. Nesse contexto, espera-se a continuidade do plano e do Programa ABC, ou de políticas similares, de forma a garantir que as metas anunciadas sejam alcançadas.

Além dos compromissos a serem cumpridos através das práticas de recuperação de pastagens e de integração de sistemas, está inclusa a geração de energia através de fontes renováveis, tais como o uso de biomassa e de cana-de-açúcar na matriz energética. Todos esses compromissos indicam que o país espera que boa parte dos seus esforços de mitigação de emissões serão desenvolvidos pelo setor agropecuário.

Sobre o setor agropecuário, pesam os esforços relativos à restauração de 12 milhões de hectares de florestas previstos nas metas da COP-21. Esse nível de restauração é aderente à necessidade de recuperação prevista de áreas de preservação permanente e de reserva legal no Código Florestal (Brasil, 2012a).¹ Como tal, a obrigação de restauração dessas áreas recai sobre os proprietários de imóveis rurais e agropecuaristas, reforçando ainda mais o papel do setor agropecuário na política climática nacional.

Apesar do aparente peso excessivo atribuído à agropecuária no que diz respeito às ações de redução de emissões compromissadas na COP-21, deve-se considerar que a atividade possui potencial considerável de contribuição. Nesse sentido, os desafios precisam ser considerados dentro da perspectiva não só de preservar a competitividade e as vantagens comparativas do setor, mas também de manter a oportunidade e a possibilidade de ganhos. Os retornos positivos podem se dar em um amplo espectro, tanto no que diz respeito a aumentos de produtividade,

1. Estudo realizado por Câmara *et al.* (2015) projeta que cerca de 11 milhões de hectares deverão ser restaurados para cumprir o Código Florestal, se um mercado de quotas de reserva ambiental for utilizado. Sem o sistema de quotas, essa área chegaria a cerca de 24 milhões de hectares.

modernização das atividades agrícolas e pecuárias e redução das disparidades tecnológicas observadas no campo, quanto no potencial de agregação de valor pela geração e associação de serviços ambientais à atividade.

A agregação de valor à atividade agropecuária e aos seus produtos com base em atributos e serviços ambientais pode ser consideravelmente elevada no caso dos compromissos assumidos, apesar de ser desafiante do ponto de vista técnico e prático. Volumes consideráveis de sequestro e formação de estoques de carbono podem ser obtidos a partir das diferentes ações delineadas pelo país para o período de 2020 a 2030.

No que diz respeito à recuperação de pastagens degradadas e integração lavoura-pecuária-floresta, o Plano ABC previa a redução de emissões da ordem de 83 a 104 milhões de toneladas de CO₂eq a partir da recuperação de 15 milhões de hectares de pastos degradados, enquanto a implementação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em 4 milhões de hectares deveria proporcionar a redução de mais 18 a 22 milhões de toneladas de CO₂eq. Esses volumes foram calculados com base no conhecimento científico existente a respeito dessas tecnologias. Considerando que as metas de Paris repetem os 15 milhões de hectares de recuperação de pastos e ampliam a meta da integração para 5 milhões de hectares, esses volumes de redução em emissões devem aumentar a partir de 2020. Estimativa recente aponta a possibilidade de redução de 1,77 bilhão de toneladas de CO₂eq em um período de dez anos pela expansão da agropecuária brasileira sobre áreas de pastagens degradadas, apenas adotando a recuperação de pastagens e a integração lavoura-pecuária-floresta (Observatório ABC, 2015a). Esse volume é maior que a estimativa anual de emissões brasileira para 2012. Deve-se notar que não é considerada nesse cálculo de redução de emissões a possível contribuição de outras tecnologias previstas no Plano ABC, como o plantio direto e a fixação biológica de nitrogênio.

A restauração de 12 milhões de hectares de florestas também deve proporcionar o sequestro de um volume de carbono considerável. A heterogeneidade de padrões vegetais de reflorestamento e de condições edafoclimáticas ao nível local, bem como a incerteza da distribuição espacial dessa restauração, dificulta o cálculo desse volume. Contudo, Câmara *et al.* (2015) estimam a possibilidade de um sequestro total de 92 milhões de toneladas de CO₂eq ao ano em 2030 através da regeneração de vegetação florestal devido à implementação do código florestal. Cálculos simples considerando a densidade de carbono em biomas de floresta tropical e a área a ser restaurada permitem atingir volumes totais entre 2 e 3 bilhões de toneladas de CO₂eq armazenados em florestas recuperadas.

Essas potenciais reduções em emissões e acúmulos de carbono por conta da implementação das tecnologias do Plano ABC e da recuperação de áreas de

florestas significam que a agropecuária brasileira pode se tornar uma importante provedora do serviço ambiental de mitigação das mudanças climáticas. Pode-se imaginar que um número considerável de outros serviços ambientais é provido como consequência dessas metas, como a regulação hídrica e a recuperação de nascentes, a preservação da biodiversidade e o aumento das amenidades ambientais associadas à vegetação florestal. Nesse sentido, é preciso esforço para agregar esses serviços ambientais à imagem e ao valor da atividade agropecuária brasileira. Tal esforço não é simples, uma vez que envolve a necessidade de conhecimento e ações interdisciplinares nos campos das ciências agrárias, ambientais e sociais aplicadas, capazes de desenvolver formas de mensurar e valorar tais serviços, atrelando-os aos produtos e conectando-os às cadeias de valor do setor, entre outros.

Indo mais além e somando-se aos serviços ambientais anteriormente discutidos, os benefícios da ação de controle definitivo do desmatamento ilegal consolidam o país nas próximas décadas como uma potência agroambiental de dimensão continental, uma vez que o Brasil possui preservados mais de 80% da área original do bioma Amazônia e mais de 40% do Cerrado. O desafio é, além do próprio cumprimento das ações anunciadas na COP-21, associar a imagem da agropecuária brasileira e dos produtos nacionais como um todo ao conteúdo ambiental que estes carregam e seus benefícios à sociedade global.

3 DIFICULDADES E DESAFIOS DA AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL

Apesar do potencial de aumento de produtividade e de geração de serviços e amenidades ambientais que as tecnologias do Plano ABC possuem e dos esforços realizados até o momento para implementação deste, o Plano ABC enfrenta dificuldades que têm limitado sua expansão e o possível atingimento das metas estabelecidas para 2020. Essas dificuldades foram sumarizadas em (Observatório ABC, 2015b):

- i)* baixo nível de conhecimento dos agricultores, dos técnicos e profissionais provedores de assistência técnica e projetistas, bem como dos agentes financeiros operadores do crédito agrícola, sobre as tecnologias preconizadas pelo Plano ABC, incluindo seus custos de implementação, potenciais benefícios e retornos financeiros, assim como aspectos técnicos das atividades envolvidas;
- ii)* ausência de monitoramento dos resultados dos projetos financiados pelo Programa ABC, especialmente no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa reduzidas ou mitigadas, o que impede que se conheça o nível de adoção das tecnologias, se as mesmas têm sido aplicadas corretamente, o quão eficiente tem sido a aplicação das tecnologias e dos recursos financeiros, e qual o custo do carbono evitado.

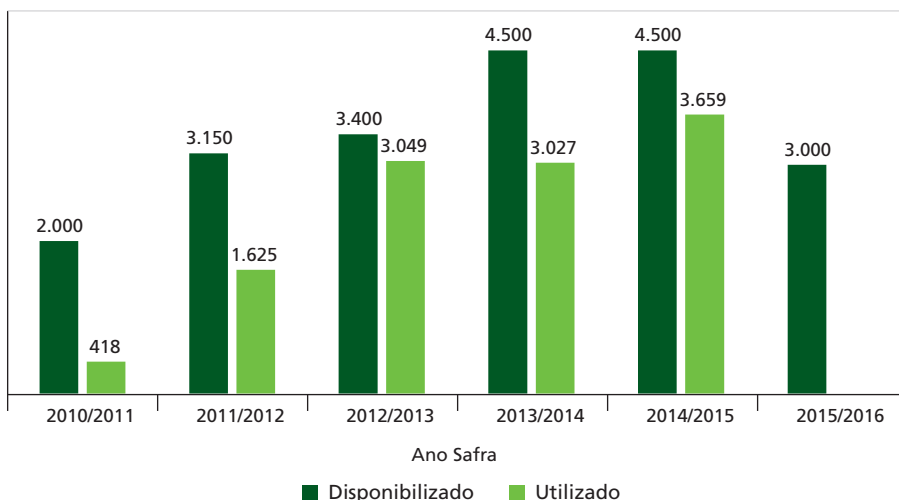
No momento, a informação existente disponível através do Banco Central diz respeito apenas ao volume de recursos desembolsados no escopo do Programa ABC, as áreas dos projetos e o seu quantitativo. Não há conhecimento sobre a extensão da aplicação das práticas de baixa emissão de carbono na agropecuária preconizadas pelo Plano ABC em áreas descobertas, o que limita conhecer a adoção real dessas tecnologias no país;

- iii*) a falta de clareza sobre a estrutura de governança do Plano ABC, que resulta na pouca articulação dos órgãos federais e estaduais para a implementação das ações previstas, dificuldades na definição de metas e ações estaduais e locais, limitações nos processos de definição e aferição das metas e do processo de revisão e aperfeiçoamento do plano;
- iv*) dificuldades práticas na tomada de crédito pelos agropecuaristas, o que inclui maiores exigências de informações nos projetos do programa (como o georreferenciamento da área a ser financiada), bem como gargalos no cumprimento de exigências documentais e de regularização fundiária, esta última sendo um problema estrutural de acesso ao crédito no Brasil não específico. Essas dificuldades costumam refletir em uma distribuição desproporcional dos recursos entre estados e regiões brasileiras, estando o crédito do programa concentrado no Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, apesar do grande potencial de mitigação em outras regiões.

Evidência clara das limitações aqui descritas está ilustrada no gráfico 1, que mostra a evolução do crédito do Programa ABC tomado pelos agropecuaristas diante do total disponibilizado. Em nenhum ano safra, o total de crédito provisionado foi utilizado, sendo que, no ano safra corrente (2015/2016), o volume total disponibilizado foi reduzido. É relevante ressaltar que, dentro das limitações resumidas no item *i*), inclui-se o desafio da mudança de paradigma que o setor financeiro enfrenta em avaliar os projetos, uma vez que a lógica de sistemas de produção predomina nos projetos em oposição à lógica vigente de itens financiáveis, bem como se atrela uma nova variável ambiental aos projetos, o carbono. Esses aspectos contribuem para a demora no processo de contratação do financiamento e a burocracia atrelada à operação.

GRÁFICO 1

Recursos programados e recursos utilizados do Programa ABC
(Em R\$ milhões)



Fonte: Brasil (2010b; 2011; 2012c; 2013; 2014; 2015) e Observatório ABC (2015c).

As limitações descritas indicam que há uma necessidade urgente de melhorias e aprimoramentos no Plano ABC e seus programas, desde o seu processo de governança até a destinação de maiores recursos e atenção às atividades de divulgação e treinamento. Evidencia-se que o desenvolvimento de mecanismos capazes de agregar valor ambiental aos produtos provenientes da agricultura de baixa emissão de carbono ainda está muito distante da realidade e não tem espaço para ser perseguido enquanto outros entraves mais emergenciais não forem tratados.

4 CENÁRIOS QUANTITATIVOS DA AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BRASIL

No intuito de investigar os benefícios da agricultura de baixa emissão de carbono, bem como fazer avaliação quantitativa dos possíveis custos econômicos da implementação das tecnologias mitigadoras sobre a agropecuária, desenvolveu-se um exercício quantitativo através de um modelo de equilíbrio geral computável. O modelo foi construído para projetar cenários futuros de emissões de GEEs a partir do desenvolvimento das economias dos países e de suas atividades econômicas de consumo de energia, produção agropecuária e mudanças no uso da terra.

4.1 Descrição do modelo

Modelos de equilíbrio geral computável são construídos a partir da teoria econômica de comportamento de consumidores e unidades produtivas. Como tal, consideram as diversas atividades e agentes econômicos e suas interações nos

mercados de bens e de fatores produtivos, determinando endogenamente preços e níveis de produção relativos. Dessa forma, são úteis na elucidação de questões associadas à alocação de recursos e trajetórias de crescimento, em oposição a ciclos de negócios ou fenômenos em desequilíbrio. A aplicação de modelos de equilíbrio geral é justificada quando políticas ou choques exógenos são capazes de impactar vários setores direta ou indiretamente, gerando efeitos que se espalham por toda a economia. Esse é o caso de políticas de redução de emissões de gases de efeito estufa, que apresentam um alcance amplo em termos de dimensões geográficas (diversas regiões e países do globo) e econômicas (vários setores e agentes da economia), com efeitos consideráveis esperados na alocação de recursos nas economias regionais, nacionais e globais. Os resultados dessa classe de modelos devem ser considerados com senso crítico quanto à capacidade de extrapolação para os eventos da economia real. A utilização dos resultados do modelo para recomendações de políticas deve basear-se nas direções dos resultados observados e magnitudes relativas, bem como no entendimento dos mecanismos e pressuposições do modelo que geram os resultados observados.

Para o estudo de políticas que lidam com a redução dos gases de efeito estufa, é necessário a representação detalhada dos fenômenos econômicos geradores desses gases, quais sejam: o consumo e produção de energia, as atividades agrícolas e as mudanças no uso da terra. Deve-se representar, em particular, a possibilidade de substituição entre diferentes tecnologias de produção e fontes energéticas, renováveis e fósseis, e a relação física entre quantidades dos diferentes tipos de gases emitidos e as quantidades de produção e de energia produzida ou consumida. A dinâmica temporal da economia é importante, uma vez que as políticas e medidas de controle procuram, em última instância, a estabilização de concentrações de gases ou reduções gradativas de emissões por várias décadas seguidas.

Ressalta-se que diversos aspectos influenciam os resultados de políticas climáticas em estudos quantitativos. Os principais fatores que afetam os resultados são: a definição do cenário de referência e projeção de emissões na ausência de políticas e medidas de controle; o cenário de política considerado; a representação das possibilidades de substituição nos processos produtivos e no consumo; as pressuposições sobre custos de tecnologias alternativas e de quando se acredita que essas estarão disponíveis, bem como as taxas de penetração destas. Esses fatores indicam a necessidade de extensivas análises de sensibilidade nos estudos de equilíbrio geral aplicados às mudanças climáticas, como os desenvolvidos por Webster *et al.* (2002).

O modelo aqui utilizado é conhecido como *Emissions Prediction and Policy Analysis* (Eppa) (Paltsev *et al.*, 2005; Gurgel, Reilly e Paltsev, 2007), desenvolvido pelo *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change*. O modelo Eppa é dinâmico recursivo, multirregional e setorial e tem sido aplicado para o estudo de aspectos ligados à agricultura, à energia e às políticas climáticas.

O modelo foi construído a partir de dados econômicos de contabilidade social e de insumo-produto que representam as estruturas das economias das regiões, provenientes do *Global Trade Analysis Project* (GTAP) (Hertel, 1997; Narayanan e Walmsley, 2008). Dados sobre produção e uso de energia em unidades físicas são provenientes da base de dados do GTAP e da Agência Internacional de Energia (IEA, 1997; 2004; 2005). As estatísticas sobre os gases de efeito estufa (dióxido de carbono, CO₂; metano, CH₄; óxido nitroso, N₂O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre; SF₆) foram obtidas de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

O modelo simula a evolução da economia mundial em intervalos de cinco anos a partir de 2005. Funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de capital, trabalho, terra, energia e insumos intermediários capazes de gerar os bens e serviços. O consumo é representado pela presença de uma família representativa em cada região, que busca a maximização do seu bem-estar pelo consumo de bens e serviços. Tanto produtores quanto consumidores são capazes de substituir bens e serviços no consumo a partir de mudanças nos preços relativos destes.

Os aspectos dinâmicos que determinam a evolução do modelo no tempo são baseados em cenários de crescimento econômico, resultantes do comportamento de consumo, poupança e investimento, além de pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, da energia e da terra. O aumento no estoque e na produtividade dos fatores primários de produção levam a aumentos na renda das famílias, o que, por sua vez, fomenta o crescimento da demanda por bens e serviços e a produção dos setores, incluindo alimentos e combustíveis. Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem à medida que estes são utilizados, forçando o aumento nos custos de extração e beneficiamento. Setores que usam recursos renováveis, como a terra, competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos por estes. Esses fenômenos, aliados às políticas simuladas, como controles nas emissões de poluentes, impostos ao uso de energia e subsídios a tecnologias menos poluentes, determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e a participação das diferentes tecnologias ao longo do tempo e entre cenários alternativos. O desenvolvimento ou declínio de uma tecnologia em particular é determinado de forma endógena, de acordo com a sua competitividade relativa.

O modelo fornece projeções sobre o crescimento do produto interno bruto (PIB) nos países e regiões, consumo agregado e produção setorial, consumo e produção de energia em unidades físicas, preços de bens e serviços, fluxos comerciais, emissões de gases de efeito estufa e custos econômicos das políticas simuladas.

O modelo Eppa é construído como um problema de complementaridade mista não linear em linguagem de programação GAMS (*General Algebraic Modeling*

System, Brooke *et al.*, 1998), utilizando a *syntax* do algoritmo MPSGE (*Modeling Programming System for General Equilibrium*), desenvolvida por Rutherford (1999). O MPSGE constrói equações algébricas que caracterizam as condições de lucro econômico zero para a produção, equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados de bens e fatores de produção e equilíbrio entre renda e despesas para os consumidores.

Na quinta versão do modelo Eppa, os dados do GTAP para a economia mundial foram organizados em dezesseis países e regiões, bem como em diversos setores de produção, como apresentado no quadro 1. Foram representados na construção do modelo setores que ofertam tecnologias energéticas novas ou recentes, considerados relevantes no futuro, mas que ainda pouco contribuem para a matriz energética ou que possuem custos elevados no presente (tecnologias *backstop*). O Eppa considera a desagregação do consumo de serviços de transportes das famílias em compras desses serviços e uso de transporte próprio (automóveis particulares).

4.2 Simulando a agricultura de baixa emissão de carbono no modelo

A representação explícita das diferentes possibilidades de mitigação previstas no Plano ABC é um desafio na modelagem computável de equilíbrio geral multirregional, como o Eppa, devido às especificidades tecnológicas e aos detalhes previstos nas políticas, de difícil representação. Como, no modelo, a agregação setorial da agropecuária considera apenas três setores – o de culturas, o de pecuária e o de silvicultura –, a simulação de políticas tecnológicas específicas se torna mais complicada.

QUADRO 1

Agregação de regiões, setores e fatores no modelo Eppa

| Regiões | Setores | Fatores |
|---------------------------------|--|--------------------|
| Estados Unidos (USA) | Não energia | Capital |
| Canadá (CAN) | Agricultura – Culturas (Crop) | Trabalho |
| México (MEX) | Agricultura – Pecuária (Live) | Petróleo cru |
| Japão (JPN) | Agricultura – Florestal (Fors) | Petróleo xisto |
| União Europeia (EUR) | Alimentos (Food) | Carvão |
| Austrália e Nova Zelândia (ANZ) | Serviços (Serv) | Gás natural |
| Federação Russa (RUS) | Químicos, borracha, plásticos, papel (CRP) | Hidráulica |
| Leste Europeu (ROE) | Siderurgia e metalurgia (Iron) | Nuclear |
| China (CHN) | Metais não ferrosos (Alum) | Eólica e solar |
| Índia (IND) | Minerais não metálicos (Cime) | Terra: |
| Brasil (BRA) | Outras indústrias (Othr) | - de culturas |
| Leste Asiático (ASI) | Serviços de transporte (Tran) | - pastagens |
| Oriente Médio (MES) | Transporte próprio das famílias (Ftran) | - florestal |
| África (AFR) | Energia | Florestas naturais |

(Continua)

(Continuação)

| Regiões | Setores | Fatores |
|----------------------|--|--------------------|
| América Latina (LAM) | Carvão (Coal) | Pastagens naturais |
| Resto da Ásia (REA) | Petróleo bruto (Oil) | |
| | Petróleo refinado (Roil) | |
| | Gás natural (Gas) | |
| | Eletricidade: fóssil (Elec) | |
| | Eletricidade: hidráulica (H-ELE) | |
| | Eletricidade: nuclear (A-NUC) | |
| | Eletricidade: eólica (W-ELE) | |
| | Eletricidade: solar (S-ELE) | |
| | Eletricidade: biomassa (biELE) | |
| | Eletricidade: NGCC ¹ (NGCC) | |
| | Eletricidade: NGCC – CCS ² | |
| | Eletricidade: IGCC ³ – CCS | |
| | Gás sintético (SGAS) | |
| | Biocombustível (2ª geração) (Boil) | |
| | Petróleo de xisto (Soil) | |
| | Biocombustível (1ª geração) | |

Fonte: Paltsev *et al.* (2005).

Notas: ¹ NGCC: conversão de gás natural em eletricidade a partir de ciclo combinado de geração.

² CCS: captura e sequestro de carbono.

³ IGCC: tecnologia de geração de gás natural a partir do carvão pelo ciclo combinado de geração.

Essas opções tecnológicas são representadas no modelo Eppa através das necessidades de investimentos em capital e outros fatores produtivos para reduzir determinado volume de emissões e dos custos associados a esses investimentos. Essas informações permitiriam a calibragem das elasticidades das árvores tecnológicas de produção de culturas e de pecuária de forma a obter curvas de custo marginal de abatimento compatíveis com os dados de custos das tecnologias de baixo carbono e seus potenciais de mitigação de emissões. A maior limitação para tal calibragem, contudo, é a escassez de informações sobre as necessidades de investimentos para adoção dessas tecnologias e possíveis níveis de redução em emissões associados.

O estudo *Brazil low-carbon country case study* (Gouvello, 2010) estimou curvas de custo marginal de abatimento para diversas opções de estratégias e tecnologias de redução de emissões. As tecnologias consideradas foram relacionadas à agropecuária, o potencial anual de redução de emissões e o preço do carbono capaz de induzir a sua adoção foram reproduzidos na tabela 2.

TABELA 2

Redução anual em emissões entre 2010 e 2030 e preço do carbono para induzir a adoção de tecnologias de redução de emissões

| | Redução em emissões | | Preço carbono |
|---|---------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | % | Mt CO ₂ eq | US\$/ton CO ₂ eq |
| Cogeração | 1 | 7,9 | 8 |
| Etanol substituindo gasolina (uso doméstico) | 2 | 8,8 | 24 |
| Redução do desmatamento + intensificação pecuária | 53 | 302,05 | 6 |
| Aumento do plantio direto | 3 | 17,75 | 0,5 |
| Exportações de etanol substituindo a gasolina | 6 | 33,35 | 48 |
| Reflorestamento | 10 | 54,25 | 12 |

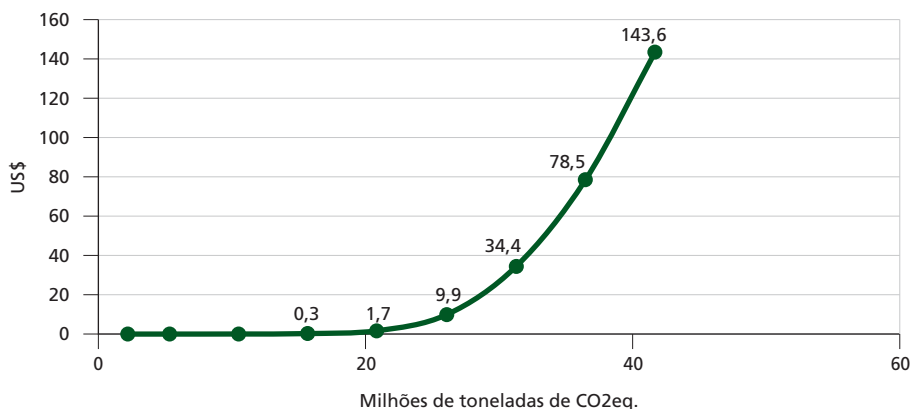
Fonte: Gouvello (2010).

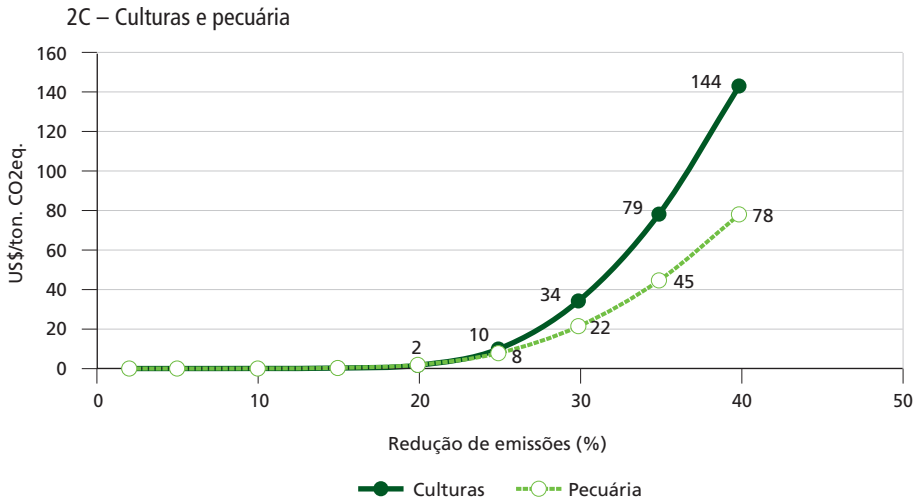
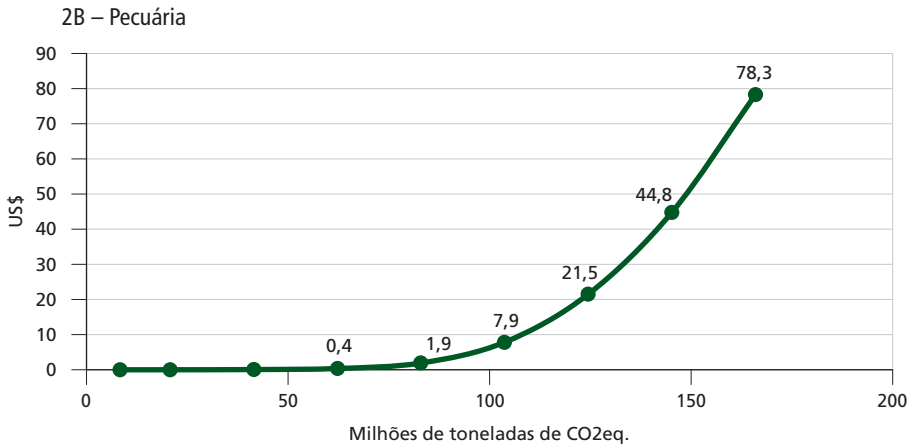
A tabela 2 não apresenta informações sobre todas as tecnologias previstas no Plano ABC, além de que o estudo sugere cautela no uso dos números, devido ao elevado grau de incerteza nas mensurações. Contudo, na ausência de outros dados, esses são os únicos parâmetros disponíveis para incorporar a agricultura de baixo carbono no modelo Eppa. Dessa forma, o modelo foi calibrado de forma a refletir algumas das tecnologias da tabela 2, gerando as curvas marginais de abatimento do gráfico 2. Essas curvas representam o nível anual de redução em emissões esperado (em valores absolutos ou percentuais) de acordo com o preço do carbono em vigor. Foram obtidas ao se testar valores alternativos para elasticidades de substituição entre os insumos produtivos que geram emissões nesses setores e créditos de emissões de carbono que deveriam ser adquiridos diante de uma política climática ativa de metas quantitativas de redução em emissões.

GRÁFICO 2

Curvas de custo marginal de abatimento calibradas no modelo Eppa para representar as tecnologias da agricultura de baixo carbono no Brasil

2A – Culturas





Elaboração dos autores.

Para o setor de culturas, a calibragem do modelo Eppa permite representar o potencial de redução de 16 milhões de toneladas (Mton) de CO₂eq a um preço de carbono de US\$ 0,25, o que caracteriza, a contento, o crescimento do uso do plantio direto na tabela 2. Já para o setor de pecuária, o gráfico 2 indica a redução de 104 Mton de CO₂eq ao preço de carbono de US\$ 7,85. O estudo de Gouvello (2010) aponta a possibilidade de redução de 302 Mton de CO₂eq ao custo de US\$ 6 por conta das práticas conjuntas de redução do desmatamento e intensificação da pecuária. Como o estudo de Gouvello (2010) não separa a redução do desmatamento da intensificação de pastagens, adotou-se uma postura mais conservadora na calibragem da curva de custo marginal de abatimento do modelo Eppa, que considera apenas a intensificação da pecuária por este setor, sendo os efeitos sobre o desmatamento uma possível consequência indireta da adoção das práticas de intensificação.

Além da incorporação das curvas de abatimento através da calibragem das elasticidades do modelo, a representação do Plano e Programa ABC exige a consideração de aporte de recursos previstos para a adoção das tecnologias de baixo carbono. O Programa ABC prevê financiamentos com taxas de juros que variaram entre 5% e 8% ao ano desde a sua criação em 2010, e permitem, desde o ano safra 2015/2016, o empréstimo de até US\$ 2 milhões por tomador de crédito para a adoção das tecnologias e práticas previstas.² Essa política pode ser representada no modelo Eppa na forma de um subsídio ao uso do fator capital, dado pela diferença entre a taxa de juros do programa e a taxa de juros de referência da economia ou do setor (taxa Selic ou taxa média de outros financiamentos agropecuários).

Considerando a incorporação desses elementos para representar tanto o Plano quanto o Programa ABC no modelo, foram simulados três cenários: um cenário de referência ou *Business as Usual* (BAU), sem aplicação de políticas climáticas; e dois outros de redução de emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. Inicialmente, de forma a entender o efeito de se incorporar as curvas de custo marginal de abatimento ao modelo, simulou-se um cenário, denominado de “*Policy*”, em que uma meta de redução de emissões é implementada de acordo com a tabela 3, sem a representação das curvas de abatimento. Posteriormente, a mesma meta de redução de emissões é novamente simulada, mas agora com a representação das tecnologias de baixa emissão de carbono através das curvas marginais de abatimento do gráfico 2 e com o incentivo à adoção dessas tecnologias, na forma de subsídios ao uso do capital na agricultura. Esse cenário foi chamado de *Policy_Tec*.

TABELA 3

Metas de redução em emissões no setor agropecuário aplicadas no modelo em relação às emissões do cenário de referência (BAU)
(Em %)

| | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Agropecuária | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |

Elaboração dos autores.

4.3 Resultados

Os resultados dos cenários simulados são apresentados a seguir. O gráfico 3 mostra as emissões de gases de efeito estufa nos setores agropecuários nos diferentes cenários simulados. A trajetória de emissões no cenário de referência (BAU) sugere um decréscimo nas emissões tanto de culturas quanto de pecuária até 2030, consequência tanto de ganhos de eficiência no uso de insumos e nos processos produtivos incorporados nos parâmetros do modelo, quanto da baixa taxa de crescimento da economia prevista para os próximos anos. Mais relevante que a

2. No caso de adoção de recursos para o plantio de florestas, o montante máximo varia entre R\$ 3 milhões e R\$ 5 milhões, de acordo com o número de módulos fiscais do estabelecimento agropecuário.

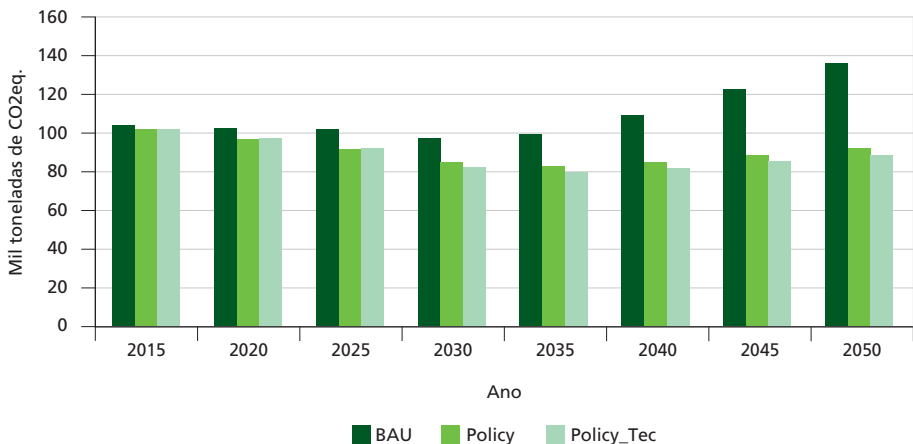
trajetória do cenário BAU, contudo, são as mudanças em relação a essa trajetória quando da introdução de uma política explícita de redução de emissões no setor agropecuário, através da imposição de uma taxa às emissões de gases de efeito estufa. Nesse sentido, percebe-se que, tanto na produção de culturas quanto na pecuária, a imposição do imposto às emissões visando reduções percentuais em emissões como na tabela 3 provoca uma redução na produção que é sempre ligeiramente maior no caso do cenário *Policy_Tec*, em que as tecnologias de baixa emissão de carbono estão representadas pela incorporação das curvas marginais de abatimento apresentadas anteriormente.

GRÁFICO 3

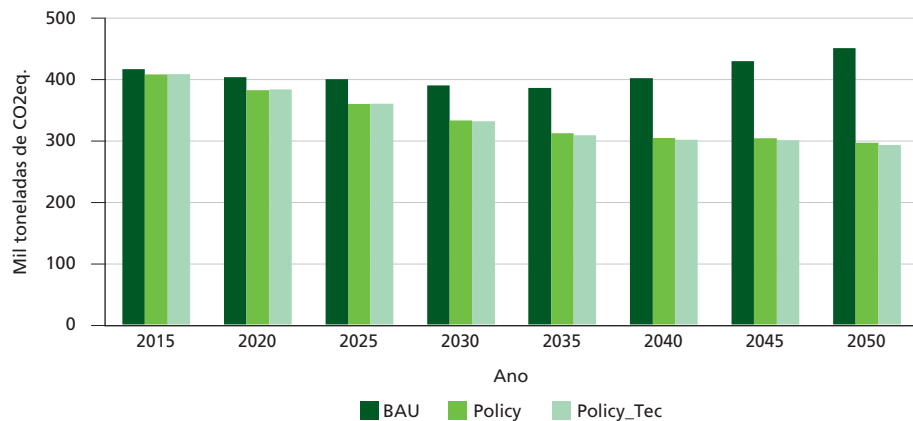
Trajetória de emissões de GEEs provenientes dos setores agropecuários nos cenários BAU, Policy e *Policy_Tec*

(Em milhões de toneladas de CO₂eq)

3A – Culturas



3B – Pecuária



Elaboração dos autores.

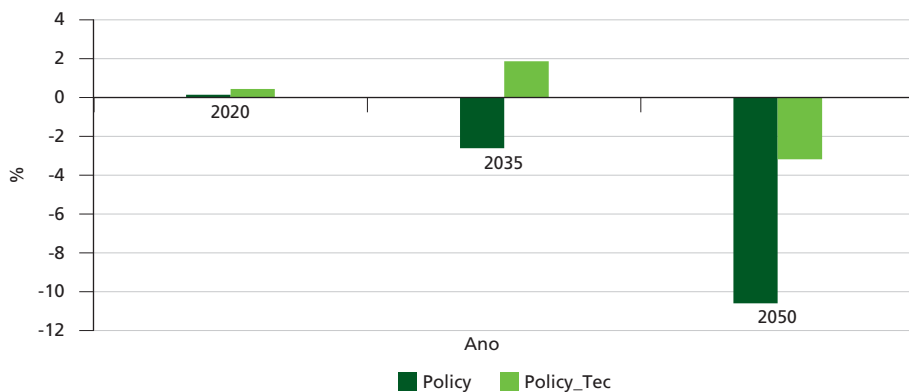
O gráfico 4 apresenta os resultados de mudanças no valor da produção dos setores de culturas e pecuária nos cenários *Policy* e *Policy_Tec*. Essas mudanças no valor da produção são calculadas em relação à produção observada no Cenário de Referência (BAU), em que não são adotadas metas de redução em emissões. A tabela 4 apresenta uma forma alternativa de olhar para os resultados de produção, na forma das taxas de crescimento da produção nos setores de culturas e pecuária em relação à produção no ano de 2010 nos diferentes cenários. Essas taxas confirmam que o cenário de tecnologias de baixas emissões na agricultura brasileira permite taxas de crescimento na produção mais próximas daquelas observadas no cenário de referência.

GRÁFICO 4

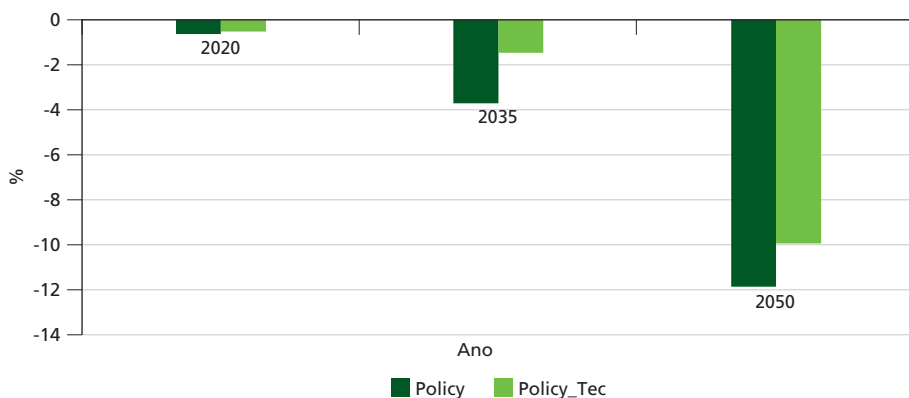
Variações na produção brasileira dos setores agropecuários nos cenários *Policy* e *Policy_Tec*

(Em %)

4A – Culturas



4B – Pecuária



Elaboração dos autores.

TABELA 4

Taxas de crescimento da produção dos setores agropecuários em relação ao ano de 2010 (Em %)

| | 2020 | | | 2035 | | | 2050 | | |
|----------|------|--------|------------|------|--------|------------|------|--------|------------|
| | BAU | Policy | Policy-Tec | BAU | Policy | Policy-Tec | BAU | Policy | Policy-Tec |
| Culturas | 2,09 | 2,10 | 2,24 | 2,37 | 2,27 | 2,48 | 2,82 | 2,53 | 2,74 |
| Pecuária | 2,48 | 2,42 | 2,50 | 2,53 | 2,38 | 2,49 | 2,57 | 2,25 | 2,31 |

Elaboração dos autores.

Considerando que o corte em emissões é o mesmo nos dois cenários, a representação das tecnologias de baixo carbono e do Plano ABC no modelo Eppa reduz os impactos negativos da política climática sobre a agropecuária. O setor de culturas experimenta resultados mais favoráveis, com aumentos na produção nos anos de 2020 e 2035, e queda de apenas 3% na produção em 2050 no cenário *Policy_Tec*, bem inferior à queda de mais de 10% no cenário *Policy*. Já o setor de pecuária continua sofrendo perdas em todos os anos, porém, menos expressivas que no cenário *Policy*. Esses resultados indicam que a calibragem da curva de custo marginal de abatimento no modelo Eppa no cenário *Policy_Tec* permite considerar menores custos na mitigação das emissões do que a formulação original do modelo. Os resultados revelam que os recursos de crédito amenizam os custos de adoção das tecnologias de baixo carbono para os produtores, reduzindo assim as perdas em valor da produção e na competitividade dos setores agropecuários diante da política de redução de emissões. Contudo, o setor da pecuária tem maior dificuldade em manter a produção, mesmo com os recursos do programa, perdendo competitividade em relação ao setor de culturas. Esse resultado deve-se à maior participação relativa desse setor nas emissões de gases de efeito estufa.

Aqui vale destacar uma restrição do modelo no que diz respeito à não representação do sequestro de carbono nos solos de pastagens bem manejadas, limitação que é observada no inventário brasileiro que gera os dados oficiais de emissões do país. Isso significa que não se considera a lógica de contabilidade do carbono no sistema de produção pecuária, mas apenas as emissões de gases de efeito estufa provenientes da produção animal na contabilidade do carbono. Essa abordagem ignora a possibilidade de acúmulo de carbono nos solos de pastagens, que recebem boas práticas e que suportam um número adequado de animais. Avanços futuros no modelo devem ser implementados para considerar a dinâmica de emissões do sistema pecuário com um todo, o que pode gerar, como resultado do modelo, maiores reduções em emissões e menores cortes em produção, devido à imposição de metas de redução de emissões.

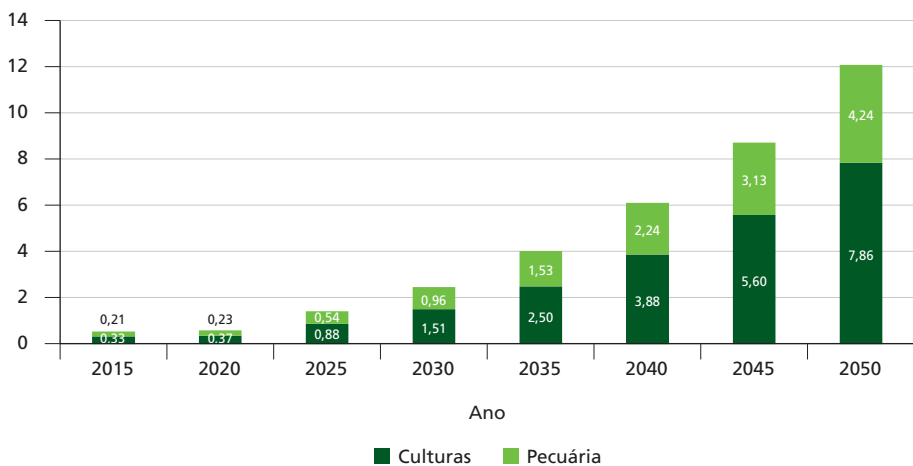
Um aspecto importante do Plano ABC é o volume de recursos necessários para induzir o agricultor a adotar as tecnologias de baixas emissões. O gráfico 5 apresenta os resultados no que diz respeito aos montantes de recursos que seriam tomados pelos agricultores para atingir as metas de cortes em emissões simuladas. Os valores necessários seriam de cerca de US\$ 0,54 bilhões em 2015 e US\$ 0,6 bilhões em 2020, o que são montantes compatíveis, porém inferiores, ao disponibilizado pelo

governo, como apresentado anteriormente. No Plano Agrícola e Pecuária para a safra 2014/2015, por exemplo, foram disponibilizados R\$ 4,5 bilhões e acessados pelos agropecuaristas o montante de R\$ 3,7 bilhões.³ Esses valores, em dólar do período, equivalem a cerca de US\$ 1,7 bilhão e US\$ 1,3 bilhão respectivamente. Dessa forma, o valor menor de recursos estimado para atingir as metas de reduções em emissões está associado à calibragem das curvas marginais de abatimento, que o tornam mais otimista em termos de custos e capacidade de mitigação. O modelo considera a otimização dos agentes e abstrai o funcionamento dos mercados imperfeitos, que implicam custos e riscos mais elevados. De qualquer forma, os dispêndios com incentivos à adoção das tecnologias de baixo carbono no modelo reduzem os custos da política climática sobre a produção agropecuária.

Os recursos destinados ao cumprimento das metas de reduções em emissões na agropecuária são sempre mais expressivos para o setor de culturas. Esse setor toma mais recursos que o de pecuária por ter um valor de produção mais expressivo. Isso reflete a maior competitividade que o cenário tecnológico traz para esse setor, sugerindo que as taxas de juros para mitigação de emissões na pecuária deveriam ser menores se fosse objetivo do programa distribuir recursos de forma mais equitativa entre os dois setores ou evitar perdas maiores na pecuária. Contudo, a aplicação de taxas de juros diferentes entre os setores tenderia a diminuir a eficiência das políticas públicas, por discriminar o setor com maior capacidade de abatimento de emissões.

GRÁFICO 5

Montante de recursos do Programa ABC necessários para atingir os cortes em emissões do cenário Policy
(Em US\$ bilhões)



Elaboração dos autores.

3. Para tanto, ver: <www.agricultura.gov.br/pap>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura brasileira possui papel importante na transição para uma economia de baixa emissão de carbono. O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) faz parte da política de combate às mudanças climáticas e preconiza a adoção de tecnologias e ações de redução de emissões na agropecuária, como a recuperação de pastagens, a integração lavoura-pecuária-floresta e o plantio direto, entre outras. Procurou-se discorrer sobre os potenciais do Plano ABC e seus desafios, bem como apresentar simulações de cenários possíveis relacionados ao impacto das tecnologias de baixa emissão de carbono na agropecuária brasileira.

Considerando os benefícios potenciais de redução em emissões que as tecnologias de baixa emissão na agricultura podem trazer ao país, essas tecnologias foram incorporadas nas metas anunciadas na COP-21 em 2015, através das quais o país se comprometeu a reduzir suas emissões em até 43% em 2030, em relação às emissões observadas em 2005. Aliado a outras ações previstas para o alcance dessas metas, tais como a recuperação de 12 milhões de hectares de florestas, a expansão da bioenergia e o fim do desmatamento ilegal, o setor agropecuário torna-se o principal protagonista na política climática brasileira. Apesar da responsabilidade aparentemente excessiva destinada ao setor, tem-se a oportunidade de consolidar o país como a principal potência agroambiental desta primeira metade do século XXI, uma vez que os serviços ambientais que serão obtidos a partir das ações de mitigação na agropecuária vão além da redução em emissões, mas abrangem amenidades à poluição, conservação da biodiversidade e dos sistemas hidrológicos, entre outras. O desafio está em articular os agentes públicos, privados e do terceiro setor, de diferentes áreas do conhecimento e níveis de atividade, para desenvolver formas críveis de agregar o valor dos serviços ambientais à atividade e ao produto agropecuário. O esforço de comunicação junto aos consumidores sobre os atributos ambientais associados é parte fundamental para o sucesso da disseminação da ideia de setor responsável.

De forma a buscar uma quantificação dos impactos econômicos e ambientais das ações em prol de uma agricultura de baixa emissão de carbono no país, foram incorporadas no modelo econômico de equilíbrio geral computável curvas marginais de abatimento, capazes de refletir os custos e as possibilidades de mitigação de algumas das tecnologias de baixa emissão na agropecuária. Trata-se de uma primeira simulação quantitativa dos potenciais resultados do Plano ABC, considerando as limitações de dados e informações sobre custos e benefícios dessas tecnologias. Aplicando no modelo cenários de cortes em emissões e incentivos à agricultura de baixa emissão, os dados sugerem que a política de redução de emissões via estímulo às práticas como a intensificação da pecuária e recuperação de pastagens e o plantio direto permitiriam a redução de emissões entre 11 milhões de toneladas de

CO₂eq em 2015 e 206 milhões de toneladas em 2050. Esses cortes em emissões não trariam custos para a produção do setor em 2015, mas em 2050 provocariam uma redução de 3% na produção de culturas e de 10% na produção pecuária em relação a um cenário sem política climática. O pagamento de incentivos aos agropecuaristas para a adoção das tecnologias de baixa emissão contribui para reduzir as perdas na atividade produtiva provocadas pela restrição às emissões, sendo que os volumes de incentivos necessários sairiam de US\$ 0,5 bilhões em 2015 para US\$ 12 bilhões em 2050.

Os resultados aqui encontrados ignoram a possibilidade de associar aos produtos brasileiros o valor dos serviços ambientais derivados da redução de emissões. Apesar disso, demonstram que os incentivos às tecnologias de baixa emissão de carbono reduzem emissões e amenizam os custos das metas da política climática. Dessa forma, estudos futuros devem buscar aprimorar a metodologia de representação e modelagem quantitativa dos custos e benefícios das tecnologias do Plano ABC, bem como desenvolver métodos e instituições capazes de mensurar o valor dos serviços ambientais e agregá-lo às cadeias de produção do agronegócio e aos produtos brasileiros.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 dez. 2010a. Seção 1, p. 4.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano agrícola e pecuário 2010/2011**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2010b.

_____. **Plano agrícola e pecuário 2011/2012**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2011.

_____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de maio 2012a Seção 1, p. 1.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. Brasília: Mapa/ACS, 2012b. 173 p.

_____. **Plano agrícola e pecuário 2012/2013**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2012c.

_____. **Plano agrícola e pecuário 2012/2013**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2012d.

_____. **Plano agrícola e pecuário 2013/2014**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2013.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2014. 164 p.

_____. **Plano agrícola e pecuário 2015/2016**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2015.

BROOKE, A. *et al.* **GAMS: a user's guide**. Washington: GAMS Development Corporation, 1998. 262 p.

CÂMARA, G. *et al.* **Modelling land use change in Brazil: 2000-2050**. 1. ed. São José dos Campos: Inpe; Brasília: Ipea; Laxenburg: Iiasa; Cambridge: UNEP-WCMC, Nov. 2015.

GOUVELLO, C. **Brazil low-carbon country case study**. Washington: World Bank, 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/vGDE8v>> Acesso em: 19 Feb. 2015.

GURGEL, A., REILLY, J. M., PALTSEV, S. Potential land use implications of a global biofuels industry. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, v. 5, n. 2, p. 1-36, 2007.

HERTEL, T. **Global trade analysis: modeling and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, Japan: Iges, 2006.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Renewable energy policy in IEA countries. **Country reports**, Paris: OECD/IEA. v. 2. 1997.

_____. **World energy outlook: 2004**. Paris: OECD/IEA, 2004.

_____. **Energy balances of non-OECD countries: 2005 edition**. Paris: OECD/IEA, 2005.

NARAYANAN, B. G.; WALMSLEY, T. G. **Global trade, assistance, and production: the GTAP 7 database**. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2008.

OBSERVATÓRIO ABC. **Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira: uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de**

2012 a 2023. São Paulo: FGV, 2015a. Disponível em: <<http://goo.gl/WlyuPf>>. Acesso em: nov. 2015.

_____. **Propostas para revisão do Plano ABC.** São Paulo: FGV, 2015b. Disponível em: <<http://goo.gl/dM0QX1>>. Acesso em: dez. 2015.

_____. **Análise dos recursos do Programa ABC:** foco na Amazônia Legal. São Paulo: FGV, 2015c. Disponível em: <<http://goo.gl/vI4UEX>>. Acesso em: jun. 2015.

RUTHERFORD, T. F. Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax. **Computational Economics**, v. 14, n. 1, p. 1-46, 1999.

PALTSEV, S. *et al.* The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. **Report**, Cambridge, n. 125, 2005.

WEBSTER, M. D. *et al.* Uncertainty in emissions projections for climate models. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 36, p. 3659-3670, 2002.