

FIESP
COMITÊ DE
MUDANÇA
DO CLIMA

MUDANÇA DO CLIMA

AVALIAÇÃO DOS REFLEXOS DAS METAS
DE REDUÇÃO DE EMISSÕES SOBRE A
ECONOMIA E A INDÚSTRIA BRASILEIRA

FIESP

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

MUDANÇA DO CLIMA

AVALIAÇÃO DOS REFLEXOS DAS METAS DE
REDUÇÃO DE EMISSÕES SOBRE A ECONOMIA
E A INDÚSTRIA BRASILEIRA

Março 2017



Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

MENSAGEM DO PRESIDENTE



A FIESP, não obstante todas as dificuldades que o País está enfrentando e seus impactos para os setores produtivos, entende que é preciso atuar com posições firmes no curto prazo, além de construir mecanismos para enfrentar os desafios do cenário futuro da economia global.

O acompanhamento e a participação efetiva da FIESP, desde 2009, nas Conferências da Organização das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, permitiram antever um caminho que se mostra inexorável, o que leva à economia de baixo carbono, coadunando-se com o compromisso assumido pelo Governo brasileiro na ratificação do Acordo de Paris, que entrou em vigor em 4 de novembro de 2016.

O momento presente indica a necessidade de fomentar o nosso crescimento e uma das alternativas mais concretas é a ampliação das exportações, daí a pertinência de atentar para as políticas e estratégias que o comércio internacional possa vir a adotar em termos de barreiras não comerciais, dentre as quais se destacam as exigências de requisitos socioambientais.

Diante dessa realidade, a FIESP determinou a elaboração deste Estudo, tendo por objetivo prover subsídios ao debate das políticas públicas que efetivamente possibilitem a redução de custos e a modernização dos processos industriais, de modo a garantir a inserção do País em uma economia global de baixo carbono.

Para tanto, foram elaborados cenários de referência e simulações com a finalidade de avaliar o comportamento da economia nacional, comparativamente aos principais blocos econômicos mundiais, utilizando-se a precificação do carbono como uma relevante iniciativa de mercado para mitigar as emissões dos Gases de Efeito Estufa.

Os resultados obtidos permitem, com significativa margem de segurança, apontar direções que consolidem a posição do Brasil na Agenda da Mudança do Clima, assegurando a competitividade, o crescimento econômico e o desenvolvimento.

Paulo Skaf

Presidente



Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

Presidente

Paulo Skaf

COMITÊ DE MUDANÇA DO CLIMA

João Guilherme Sabino Ometto (Coordenador)
Aprígio Eduardo de Moura Azevedo (Coordenador-Adjunto)

Diretores

Carlos Antonio Cavalcanti (Infraestrutura)
José Ricardo Roriz Coelho (Competitividade)
Mario Sergio Cutait (Agronegócio)
Nelson Pereira dos Reis (Meio Ambiente)
Paulo Francini (Economia)
Thomaz Marinho de Andrade Zanotto (Relações Internacionais e Comércio Exterior)

Grupo Técnico

Anícia Aparecida Baptistello Pio
Antonio Carlos P. Costa
Guilherme Renato Caldo Moreira
Marco Antônio Ramos Caminha
Priscila Freire Rocha
Solange Borges
Vinícius Neves dos Santos

Consultores

Angelo Costa Gurgel
Rudinei Toneto Junior

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
Departamento de Meio Ambiente - DMA
Av. Paulista, 1.313, 5º andar
CEP: 01311-923 – São Paulo – SP
www.fiesp.com.br
cdma@fiesp.org.br

Projeto Gráfico
e Diagramação: Studio MRK
Revisão: Hassan Ayoub
Impressão: Gráfica HROSA

Catálogo na Fonte

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
Mudança do clima: avaliação dos reflexos das metas de
redução de emissões sobre a economia e a indústria brasileira /
Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. — São Paulo:
FIESP, 2017.

84 p. : il.

ISBN: 978-85-7201-025-2

1. Mudança do clima 2. Protocolo de Kyoto 3. Emissão de GEE 4.
Política climática 5. Cap-and-Trade 6. Emissões brasileiras
7. Fiesp 8. Comitê de mudança do clima 9. Indústria brasileira 10.
Reflexos das metas de redução de emissões sobre a
economia e a indústria brasileira I. Título

CDD 551.69
F293m

APRESENTAÇÃO



As ações relacionadas à redução dos Gases de Efeito Estufa - GEE trarão reflexos para todos os segmentos produtivos, razão pela qual a FIESP criou o Comitê de Mudança do Clima, objetivando discutir o assunto de maneira transversal e consolidar seu posicionamento, contando com a participação dos Departamentos envolvidos no tema: Agronegócio, Competitividade, Economia, Infraestrutura, Meio Ambiente, Relações Internacionais e Comércio Exterior.

O Estudo aqui apresentado foi desenvolvido por iniciativa e coordenação desse Comitê, visando fundamentar os debates correlacionados e enfocando a avaliação das alternativas de precificação de carbono, as quais começam a ser desenhadas no mercado internacional, em função dos novos cenários resultantes do Acordo de Paris.

Como principal resultado desse Acordo a economia global de baixo carbono ganha cada vez mais relevância, sendo tarefa essencial dos países signatários a implementação de ações que objetivem manter o aumento da temperatura no Planeta, abaixo da meta de 2 graus Celsius, até o fim deste século.

Tal compromisso só será viável com a adoção de medidas de mitigação e adaptação, que permitam a diminuição das emissões e propiciem o equilíbrio entre a proteção ambiental, o crescimento dos setores produtivos e o bem-estar social, ou seja, o desenvolvimento sustentável.

Com este trabalho, a FIESP espera contribuir para o relevante debate da Mudança do Clima e suas implicações na economia nacional, tema do mais alto interesse da sociedade.

João Guilherme Sabino Ometto

Coordenador do Comitê de Mudança do Clima





SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO DO ESTUDO	15
3. METODOLOGIA ADOTADA	16
4. CENÁRIOS IMPLEMENTADOS	28
5. RESULTADOS	37
6. CONCLUSÕES	54
7. RISCOS E OPORTUNIDADES	59
8. REFERÊNCIAS	64
9. APÊNDICE I	68
10. APÊNDICE II	70



INTRODUÇÃO

A - O Acordo de Paris

A Mudança do Clima afeta de modo igualitário todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, e esse importante tema ganha, a cada dia, maior relevância, em especial após a 21ª Conferência das Partes (COP21), realizada em Paris, no fim de 2015, quando foi consenso das 195 nações signatárias, além da União Europeia, a necessidade de um esforço conjunto para manter o aquecimento global abaixo da meta dos 2 graus Celsius ao longo deste século.

Relevante, o encontro de Paris foi mais um marco na linha do tempo das discussões globais, como o foram a Rio-92, a assinatura do Protocolo de Kyoto, em 1997, e o encontro de Copenhague, em 2009, inserindo a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) na agenda prioritária do mundo.

O Acordo de Paris constituiu o maior esforço multilateral já empreendido de combate à mudança do clima, no qual os países participantes se comprometeram com medidas de mitigação e adaptação para a redução de suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), a ser implementadas no período de 2020 a 2025, com sinalizações para reduções futuras até 2030, algumas alcançando até o ano de 2050.

Cada país considerou suas capacidades e especificidades socioeconômicas, tanto na determinação de suas metas de corte de emissões de GEE quanto nas estratégias que estabelecerão para atingi-las, respeitando-se o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas. Esses compromissos foram construídos voluntariamente e denominados Contribuições Pretendidas Nacionalmente Determinadas (INDCs, na sigla em inglês).

A grande expectativa gerada em razão da assinatura do Acordo é o que ele representará para garantir a sustentabilidade do planeta e seus ecossistemas, principalmente como ele condicionará uma nova agenda global de desenvolvimento sustentável e determinará novos arranjos geopolíticos das relações de clima e o crescimento da economia mundial.

B - A proposta brasileira

O Brasil apresentou metas absolutas de redução das emissões no Acordo de Paris, que o posicionam como um dos países emergentes de maior ambição nos esforços de mitigação à mudança do clima. As ações delineadas pelo País buscam intensificar os esforços correntes para a redução de suas emissões e estão sintetizadas no quadro a seguir:

SETOR	AÇÃO
Mitigação	Compromisso de redução de 37% das emissões até 2025/ano-base de 2005 – representando 1.3 GtCO ₂ e. Indicação de contribuição de redução de 43% das emissões até 2030 /ano-base 2005 – representando 1.2 GtCO ₂ e.
Código Florestal	Mudança de uso do solo e florestas. Intensificação da implantação do Código Florestal. Aumento de fiscalização na Amazônia Brasileira. Desmatamento zero até 2030. Compensações de GEE em processos de desmatamento legal. Restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares de floresta até 2030.
Energia	Atingir 45% de renováveis na matriz energética até 2030. Aumento da parcela de renováveis, excluindo hidrelétricas no “mix” total da matriz energética entre 28% e 33% até 2030. Aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética brasileira para 18% até 2030.
Agricultura	Intensificar o programa de baixo-carbono da Agricultura (Programa ABC), incluindo a restauração de 15 milhões de hectares de pastos degradados até 2030.
Indústria	Promover novos padrões de tecnologia limpa e aumentar as medidas de eficiência energética e infraestrutura de baixo-carbono.
Transporte	Promover medidas de eficiência energética e melhorar a infraestrutura para o transporte em geral e o transporte público nas áreas urbanas.
Mecanismos de Mercado	O Brasil reserva sua posição de vir a utilizar esse mecanismo sempre que for necessário.

Ações em Adaptação

O Brasil está trabalhando no desenvolvimento de novas políticas públicas, tendo como referência o Plano Nacional de Adaptação (PNA).

Iniciativas Sul-Sul

Ao reconhecer o papel complementar da cooperação Sul-Sul, o Brasil envidará todos os esforços, com base na solidariedade e nas prioridades comuns de desenvolvimento sustentável, para ampliar iniciativas de cooperação com outros países em desenvolvimento.

A implementação das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) brasileiras implicará exigências para os diferentes setores econômicos, especialmente em relação às ações de mitigação e adaptação. Esses compromissos terão reflexos sobre a indústria e o agronegócio, os quais movem economicamente o País, havendo questões implícitas e essenciais, a exemplo da garantia à segurança alimentar e à manutenção da competitividade dos sistemas produtivos.

Porém, para o atendimento das metas propostas pelo Brasil, será fundamental, além de considerar os esforços já empreendidos no passado, contemplar os mecanismos futuros, incluindo aqueles voltados ao financiamento, transferência e incremento de novas tecnologias entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

O aporte de recursos financeiros internacionais oriundos do Fundo Verde (*Green Climate Fund*) e de outras fontes é avaliado como essencial pela indústria, para que o Brasil possa se adaptar às questões decorrentes da mudança do clima e enfrentar eventos meteorológicos extremos.

Outro fator crucial é o reconhecimento das ações antecipadas de mitigação (*early actions*), entre 2010 e 2020, além da expressiva participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, auxiliares na pauta de discussões inerentes aos programas de etanol, biodiesel, biocombustível e hidroeletricidade do País.

O nosso ativo florestal resultante do combate ao desmatamento até 2014 – mais de 650 milhões de ton. CO₂ equivalente – deve ser creditado como contribuição nacional à redução das emissões globais. Nesse mesmo sentido, entende-se como fundamental que as ações de restauração e reflorestamento decorrentes do Novo Código Florestal, que promoverão o incremento no sequestro de carbono, sejam consideradas na composição das NDCs brasileiras.

A aprovação da Política Nacional sobre Mudança do Clima, em 2009, e sua implementação ao longo dos anos, com base nos planos setoriais, bem como a aprovação de leis estaduais e a ratificação do Acordo de Paris pelo Congresso Nacional, refletem a importância do tema para o País.

Considerando o protagonismo do Brasil nas negociações globais, sendo um dos países que mais reduziram emissões de GEE nos últimos anos, impõe-se, em curto espaço de tempo, a definição de caminhos para o estabelecimento dos alicerces de uma economia de baixo carbono, tornando-se decisivo para tal contar com mecanismos de mercado, dentre outros.

C - FIESP e a Agenda de Mudança do Clima

A FIESP acompanha esse tema com muita atenção, tendo participado oficialmente das COPs desde 2009, criando para tanto um Comitê de Mudança do Clima, composto de membros dos departamentos de Meio Ambiente, Agronegócio, Infraestrutura, Economia, Competitividade e Relações Internacionais e Comércio Exterior, para análises e discussões sobre a matéria, tornando públicos seus posicionamentos a respeito das negociações ocorridas em cada COP, em especial referente ao Acordo de Paris.

Na avaliação da FIESP, houve contribuição decisiva da indústria para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), ao longo dos anos, por intermédio do aprimoramento dos seus processos produtivos e o emprego de tecnologias avançadas. Assim, em momento tão sensível do cenário nacional, a preservação da competitividade deve ser central sem prejuízo ao crescimento econômico e aos avanços sociais conquistados nas últimas décadas.

No entanto, identificam-se complexos desafios **em uma transição considerada irreversível para a economia global de baixo carbono**, que deverá contemplar a necessidade de precificação do carbono, o estabelecimento de mercado de carbono¹ e respectivos esforços a ser empreendidos por todos os segmentos da sociedade.

Nesse contexto, **os setores empresarial e governamental precisam internalizar essas potenciais variáveis nos seus planejamentos estratégicos, assim como dispor de mecanismos e alternativas adaptadas à realidade brasileira** e às especificidades de cada setor econômico, para minimizar os impactos e riscos inerentes à sua competitividade.

¹ Vide "Posicionamento da FIESP" no Apêndice I deste documento.

OBJETIVO DO ESTUDO

Diante desse cenário, a FIESP julgou necessário promover um estudo que pudesse considerar as mais diversas variáveis, e escolheu o Modelo de Equilíbrio Geral, desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), cujo maior mérito é o de contemplar **um módulo adaptado à realidade brasileira**, incorporando **dados oficiais** dos organismos governamentais, bem como dos demais países, em um contexto de economia globalizada.

O objetivo do presente estudo é investigar os potenciais impactos sobre a economia brasileira, de maneira agregada, e seus principais setores produtivos, indicando os possíveis custos advindos da adoção de diferentes estratégias e de potenciais modelos de políticas públicas que possam ser adotados na precificação do carbono, objetivando a mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa e criando incentivos à melhora dos processos e em P&D.

Deseja-se, assim, contribuir para qualificar o debate nacional em conjunto com os diversos agentes públicos e privados, em particular os diferentes segmentos industriais, em relação às políticas públicas em vias de implementação, para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, ou seja, aquelas que reflitam efetivamente as ações de maior eficiência e, ao mesmo tempo, representem menor impacto para a sociedade. Os resultados permitirão indicar os custos setoriais agregados de políticas e ações para reduzir as emissões brasileiras, bem como traçar recomendações para o posicionamento da FIESP em termos de medidas que possibilitem a minimização dos custos para o alcance de tais objetivos.

METODOLOGIA ADOTADA

O Estudo foi elaborado a partir da adaptação e atualização de um modelo de projeção econômica de amplo alcance, da classe dos modelos de equilíbrio geral computáveis, capaz de representar e simular a dinâmica futura da economia mundial e das principais regiões e países emissores de Gases de Efeito Estufa, incluindo a economia brasileira. O modelo é atualizado para refletir as taxas de crescimento dos países e regiões considerados, levando em conta as revisões recentes das expectativas sobre o crescimento das economias brasileira e mundial.

No modelo, foram simulados cenários de adoção de políticas de mudança do clima nos principais países emissores e no Brasil. Os níveis de redução de emissões em cada país e região foram definidos com base nos compromissos de mitigação de Gases de Efeito Estufa, assumidos pelos diferentes participantes do Acordo de Paris.

No caso do Brasil, a meta de redução de emissões simulada no presente Estudo baseou-se na proposta que o País apresentou na COP21, em dezembro de 2015.

Considera-se também, sendo este um importante diferencial do trabalho, a intensificação de esforços de mitigação pós-2030, até o ano de 2050. Políticas alternativas foram testadas no estudo, de modo a capturar os diferentes custos e a efetividade destas, ao longo de todo esse período.

Três estratégias principais de representação de políticas de mudança do clima foram implementadas no modelo para demonstrar as NDCs brasileiras:

- restrições quantitativas setoriais às emissões de Gases de Efeito Estufa;

- mercados amplos de permissões de emissões;

- incentivos à adoção de tecnologias de baixa emissão.

Foram mensurados os impactos dessas medidas sobre os seguintes indicadores: PIB e taxa de crescimento; emissões de Gases de Efeito Estufa e preço de permissões de emissões.



3.1 Modelo de Equilíbrio Geral Adotado:

Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model (PALTSEV et al., 2005)

O modelo EPPA é desenvolvido pelo MIT *Joint Program on the Science and Policy of Global Change*. Trata-se de um modelo econômico elaborado para projetar cenários de emissões de Gases de Efeito Estufa e impactos de políticas de mudança do clima, sendo empregado em diversos estudos em todo o mundo com esse propósito^{II}.

Essa metodologia apresenta um alcance amplo em termos de dimensões geográficas (diversas regiões e países do planeta) e econômicas (diversos setores e agentes econômicos), considerando os efeitos da alocação de recursos nas economias regionais, nacionais e global.

As principais características do modelo estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1. Principais características do modelo utilizado

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
Classe	Modelo Computável de Equilíbrio Geral.
Alcance Regional	Economia mundial agregada em 16 regiões e países.
Alcance Setorial	Todos os setores produtivos de bens e serviços, agregados em 12 setores de bens e serviços não energéticos e 17 setores de produção de energia.
Fatores Produtivos	Todos os fatores produtivos (capital, trabalho, terra, recursos naturais não renováveis), representados por 14 fatores primários de produção.
Alcance Temporal	Dinâmico recursivo, em intervalos de cinco anos (Ano-Base: 2004/2005).
Base de dados econômica	Matrizes de insumo produto do <i>Global Trade Analysis Project (GTAP)</i> versão 7 (Narayanan e Walmsley, 2008). IBGE (2009).

^{II} A descrição completa do Modelo EPPA pode ser encontrada em Paltsev et al. (2005). Algumas aplicações do modelo e vários desenvolvimentos deste são descritos em Babiker et al. (2003), Reilly e Paltsev (2006), Paltsev et al. (2008, 2009), Melillo et al. (2012), Jacoby et al. (2009), Gurgel et al. (2007), Silva e Gurgel (2012), Karplus et al. (2012), Lima e Gurgel (2012) e Gurgel e Paltsev (2014).

Base de dados de energia e emissões de Gases de Efeito Estufa e poluentes	International Energy Agency (IEA, 1997, 2004, 2005, 2012). Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015). MCTI (2010). Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR, Olivier e Berdowski, 2001).
Dados de tecnologias e custos de abatimento de emissões	Hyman <i>et al.</i> (2003); Cossa (2004). Mckinsey, 2009; Henriques Jr., 2010; Gouvello, 2010; Seroa da Motta <i>et al.</i> , 2012; Rathmann, 2012.****
Comportamento das empresas	Teoria Microeconômica de maximização de lucro sujeita à restrição tecnológica, sob competição perfeita e retornos constantes à escala.
Comportamento das famílias	Teoria Microeconômica de maximização da utilidade sujeita à restrição orçamentária.
Comportamento Macroeconômico	Propensão marginal a poupar constante, poupança = investimento a cada período, acumulação de capital endógena, preços flexíveis nos mercados de fatores, taxa de câmbio livre, trajetórias exógenas de crescimento populacional e produtividade de fatores.
Software de simulação do modelo	<i>General Algebraic Modeling System</i> (GAMS, Brooke <i>et al.</i> , 1998) e <i>Mathematical Programming System for General Equilibrium</i> (MPSGE, Rutherford, 1999).

No presente estudo, opta-se pelo enfoque de custo-efetividade, em que objetivos de políticas de redução de GEE são simulados e os custos para atingi-los são determinados e limitados pelos modelos de simulação.

Os dados econômicos que alimentam o modelo são formados principalmente por matrizes de contabilidade social e de insumo-produto que representam as estruturas das economias das regiões, provenientes do *Global Trade Analysis Project* (GTAP), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral.

A evolução do modelo no tempo é baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento de consumo, poupança e investimentos, além de pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, da energia e da terra. O crescimento na demanda por bens e serviços produzidos em cada setor, incluindo alimentos e combustíveis, ocorre à medida que a renda e o produto aumentam.

Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem à medida que estes são utilizados, forçando o aumento no custo de extração e beneficiamento dos mesmos. Setores que usam recursos renováveis, como a terra,

competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos pelos mesmos. Todos esses fenômenos, aliados às políticas simuladas, como impostos e subsídios ao uso de energia, controle nas emissões de poluentes e imposição de mandatos de percentuais mínimos de misturas de combustíveis, determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e 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 endôgena, de acordo com a competitividade relativa da mesma.

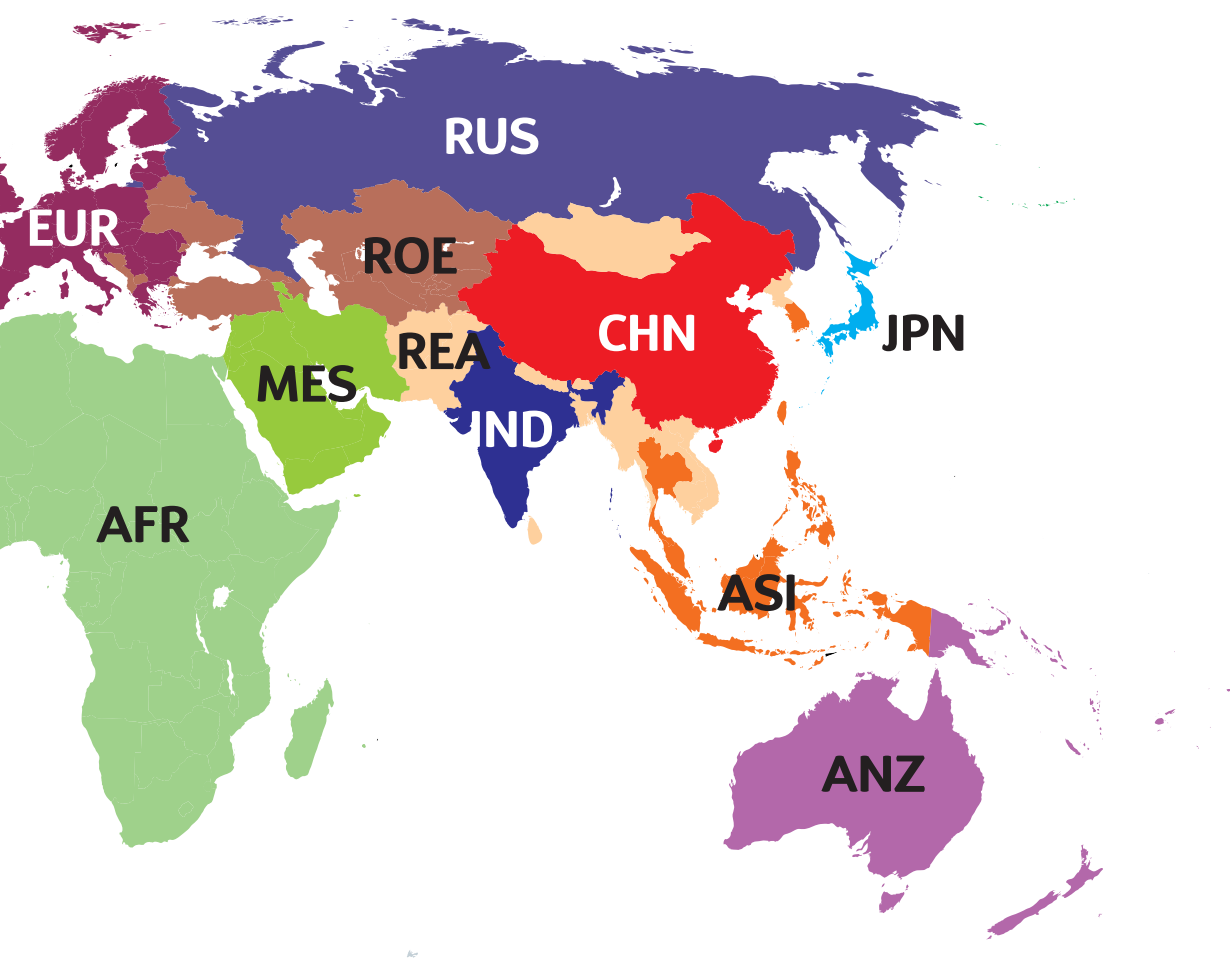
O modelo fornece estimativas e previsões sobre o crescimento do Produto Interno Bruto nos países e regiões, consumo agregado e produção setorial, consumo e geração de energia em unidades físicas, preços de bens e serviços, fluxos comerciais, emissões de GEE e de outros poluentes, e custos econômicos das políticas simuladas. A descrição completa do modelo encontra-se no APÊNDICE II.

Figura 1. Regiões e países representados no modelo



3.1.1 Agregação do modelo EPPA

A base de dados do GTAP7 apresenta matrizes de insumo–produto para 113 países e regiões do mundo e 57 setores de suas economias, representando produção, consumo, fluxos bilaterais, medidas de proteção comercial e os mercados de energia em unidades físicas. No EPPA, os dados do GTAP foram organizados em 16 países e regiões (Figura 1), bem como em diversos setores de produção, como apresentado na Tabela 1. Foram também representados, na construção do modelo, novos setores que ofertam tecnologias energéticas, considerados potencialmente relevantes no futuro, mas que ainda possuem custos muito elevados no presente (tecnologias *backstop*). O EPPA também leva em conta a desagregação do consumo das famílias em compras de serviços de transporte, uso de transporte individual (automóveis particulares) e consumo de outros bens e serviços.



Algumas modificações e adaptações foram introduzidas na versão do modelo utilizada no presente estudo, com vistas a atingir os objetivos propostos. A principal modificação diz respeito à desagregação dos setores intensivos em energia, originalmente agrupados em apenas um, da seguinte forma: químicos, borracha, plásticos e papel (CRP), siderurgia e metalurgia (STEEL), manufatura de metais não ferrosos, como alumínio, zinco e cobre (ALUM), e manufatura de minerais não metálicos, como cimento e vidro (CIME).

Tabela 1 - Agregação de regiões, setores e fatores no modelo EPPA

REGIÕES		
Estados Unidos (USA)	Federação Russa (RUS)	Oriente Médio (MES)
Canadá (CAN)	Leste Europeu (ROE)	África (AFR)
México (MEX)	China (CHN)	América Latina (LAM)
Japão (JPN)	Índia (IND)	Resto da Ásia (REA)
União Europeia (EUR)	Brasil (BRA)	
Austrália e N. Zelândia (ANZ)	Leste Asiático (ASI)	
SETORES		
Não Energia		
Agricultura - Culturas (CROP)	Siderurgia e metalurgia (STEEL)	
Agricultura - Pecuária (LIVE)	Metais não ferrosos (ALUM)	
Agricultura - Florestal (FORS)	Minerais não metálicos (CIME)	
Alimentos (FOOD)	Outras Indústrias (OTHR)	
Serviços (SERV)	Serviços de transporte (TRAN)	
Químicos, borracha, plásticos, papel (CRP)	Transporte próprio das famílias (FTRAN)	

Energia

Carvão (COAL)	Eletricidade: Nuclear (A-NUC)	Gás sintético (SGAS)
Petróleo bruto (OIL)	Eletricidade: Eólica (W-ELE)	Biocombustível (2ª geração) (BOIL)
Petróleo refinado (ROIL)	Eletricidade: Solar (S-ELE)	Petróleo de xisto (SOIL)
Gás natural (GAS)	Eletricidade: Biomassa (biELE)	Biocombustível (1ª geração)
Eletricidade: Fóssil (ELEC)	Eletricidade: NGCC ¹ (NGCC)	Gás sintético (SGAS)
Eletricidade: Hidráulica (H-ELE)	Eletricidade: NGCC – CCS ²	Biocombustível (2ª geração) (BOIL)
	Eletricidade: IGCC ³ – CCS	Petróleo de xisto (SOIL)
		Biocombustível (1ª geração)

FATORES

Capital	Gás natural	Terra:
Trabalho	Hidráulica	- de culturas
Petróleo cru	Nuclear	- pastagens
Petróleo xisto	Eólica & Solar	- florestal
Carvão		Florestas naturais
		Pastagens natur.

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

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

²CCS: captura e sequestro de carbono.

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

3.1.2 Uso da Terra

Uma sofisticação importante do modelo EPPA diz respeito à representação de mudanças no uso da terra. O uso da terra está dividido em cinco categorias: pastagens, culturas, produção florestal (áreas de silvicultura, extração vegetal e florestas plantadas), florestas naturais e pastagens naturais.

Com relação à transformação do uso da terra, a área sob determinada categoria de uso pode ser ampliada pela conversão de outras categorias de uso. Por exemplo, estradas e acessos para áreas de florestas podem ser criados, permitindo que uma área desmatada seja transformada em florestas plantadas, pastagens ou culturas. O sentido oposto também pode ser observado, ou seja, terras destinadas às culturas podem ser abandonadas voltando a crescer florestas ou campos de matas secundárias.

3.1.3 Implementação de Políticas de Mudança do Clima no Modelo

O modelo EPPA permite a incorporação de vários tipos de políticas de controle de emissões de GEE: tributação (ou impostos) e subsídios à produção e ao consumo de combustíveis e a outros tipos de produtos; alíquotas de tributos e impostos fixados com base no conteúdo de carbono dos combustíveis; definição de restrições quantitativas em emissões por região, por setor produtivo ou por tipo de Gás de Efeito Estufa; comércio nacional e internacional de créditos (ou permissões) de emissões; limites quantitativos ou impostos diferenciados por tipos de Gases de Efeito Estufa.

3.1.4 Disponibilidade de Tecnologias Alternativas

Um importante elemento que define a evolução dos modelos dinâmicos é a representação de tecnologias que não estão em uso atualmente (ou são usadas em pequena escala por não serem custo-efetivas), mas que podem se tornar disponíveis num futuro próximo. Essas opções energéticas, como a solar e a eólica, devem ser empregadas em maior escala quando a oferta de recursos energéticos convencionais baseados em combustíveis fósseis tornar-se mais escassa e/ou mais cara, ou quando políticas públicas que visem reduzir as emissões de poluição penalizarem as tecnologias energéticas convencionais, favorecendo a adoção de novas tecnologias. O momento, no tempo em que essas tecnologias tornar-se-ão disponíveis, também chamado de período de entrada, depende dos custos relativos destas em relação aos custos das fontes convencionais de energia. A **Tabela 2** apresenta as opções de tecnologias avançadas representadas no modelo EPPA.

Tabela 2 - Tecnologias alternativas disponíveis no modelo EPPA

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
Gaseificação de carvão	Converte carvão em um substituto perfeito para o gás natural.
Petróleo de xisto	Extraí e melhora o betume do xisto, transformando-o em um substituto perfeito para o petróleo.
Bicombustível de biomassa	Converte a biomassa em um substituto perfeito para o petróleo refinado (segunda geração de biocombustíveis).
Eletricidade de biomassa	Converte biomassa em um substituto perfeito para a eletricidade.
Eólica e solar	Converte a energia eólica e solar intermitente em um substituto imperfeito para a eletricidade.
Gás avançado	Tecnologia de geração de eletricidade baseada no ciclo combinado do gás natural (CCGN) que converte gás natural em eletricidade.
Gás avançado com sequestro e captura de carbono	Tecnologia de ciclo combinado do gás natural que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
Carvão avançado com sequestro e captura de carbono	Ciclo combinado integrado de gaseificação do carvão (CCIG) que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
Veículos Híbridos e Elétricos	Tecnologia de transporte urbano de passageiros movido por sistemas de propulsão elétricos ou híbridos (eletricidade e combustíveis líquidos).

Fonte: Paltsev et al. (2005).

No modelo EPPA três tecnologias produzem substitutos para os combustíveis fósseis convencionais: gás de carvão, produto de petróleo cru, do xisto e combustível refinado da biomassa. Outras cinco opções tecnológicas incluem a geração de energia elétrica eólica e solar, também a partir da biomassa e de ciclo combinado de gás natural com e sem captura e sequestro de carbono. Ainda, veículos híbridos (movidos tanto a energia elétrica quanto a combustíveis líquidos) e veículos elétricos são tecnologias disponíveis para uso em larga escala no futuro.

3.2 Adaptações do Modelo às Especificidades Brasileiras

Diante do incontestável desenvolvimento na produção e uso dos biocombustíveis de primeira geração em diversos países na última década, essas tecnologias e suas especificidades foram acrescentadas no modelo EPPA, de acordo com o nível corrente de produção existente nos diferentes países e suas principais fontes de biomassa. Foram utilizados dados das matrizes de insumo-produto do GTAP, de área cultivada da FAO e dados regionais específicos para definir os custos de produção dos diferentes tipos de biocombustíveis. Do mesmo modo, incluíram-se os seguintes tipos de biomassa: culturas açucareiras (cana-de-açúcar e beterraba), grãos (milho), trigo e oleaginosas (canola, soja, palma). O modelo EPPA também considera biocombustíveis de segunda geração uma tecnologia *backstop*, com potencial de desenvolvimento futuro, produzidos a partir de materiais celulósicos.

Ainda, os dados iniciais do modelo EPPA sobre a nossa economia foram substituídos ou ajustados para melhor refletir as estatísticas produzidas por instituições oficiais brasileiras. Tais ajustes permitem uma representação mais realista da base de dados inicial do modelo para o caso brasileiro.

O modelo EPPA agrega, em sua versão original, todos os setores mais intensivos no uso de energia sob um único setor, denominado EINT. De forma a ampliar o escopo da análise para considerar diferentes setores intensivos em energia, empreendeu-se um esforço para desagregar o setor EINT do modelo em quatro novos setores, quais sejam: a) químicos, borracha, plásticos, celulose e papel (CRP); b) siderurgia e metalurgia (STEEL); c) manufatura de metais não ferrosos, como alumínio, zinco e cobre (ALUM); e d) manufatura de minerais não metálicos, como cimento e vidro (CIME).

A desagregação desses setores intensivos em energia em quatro grandes grupos representa um avanço em relação à versão original do modelo EPPA, apesar de não permitir uma análise mais detalhada de alguns setores específicos em separado, como o de químicos ou o de papel e celulose. É importante destacar que a desagregação de um setor original do modelo EPPA em outros setores depende de disponibilidade de bases de dados de produção, comércio internacional e emissões de gases de efeito estufa para os setores considerados e para todas as regiões consideradas no estudo. Assim, a escolha da configuração de setores desagregados foi baseada na disponibilidade de dados que permitissem o recorte mais detalhado possível e considerando as similaridades e possíveis sinergias entre setores produtivos agrupados em um mesmo setor do modelo.

A FIESP entende que, no caso do Brasil, alguns setores de base florestal, como o de celulose e papel, encontram-se verticalizados no processo de produção, o que permite consideráveis ganhos ambientais diante de qualquer medida ou política de precificação do carbono e mitigação de emissões. No presente modelo essa característica de verticalização da

produção não se faz representada. Futuros esforços de pesquisa podem ser empreendidos, com vistas a representar de maneira mais adequada no modelo o sistema produtivo predominante no País.

Futuras desagregações setoriais e representações de detalhamentos tecnológicos em setores específicos podem ser introduzidas no modelo a partir de dados mais detalhados e tempo suficiente de pesquisa.

CENÁRIOS IMPLEMENTADOS

Foram simulados um cenário de referência e vários cenários de implementação de políticas e medidas de redução de GEE, de forma a capturar tanto os custos econômicos e benefícios ambientais das INDCs apresentadas pelo Brasil no Acordo de Paris quanto outras medidas possíveis (**Quadro 2**). A escolha dos cenários foi definida pela equipe do estudo e procurou cobrir as alternativas mais debatidas atualmente. O horizonte temporal do estudo inicia-se em 2015 e vai até 2050, com o propósito de gerar informações para avaliação e posicionamento quanto às medidas mais eficazes no longo prazo.

Quadro 2. Resumo dos Cenários Implementados no modelo

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	DESMATAMENTO	EMISSIONES NOS DEMAIS SETORES	POLÍTICA CLIMÁTICA NOS DEMAIS PAÍSES
BAU	Cenário sem política climática.	Ausência de controle rígido.	Ausência de controle.	Ausência de política, com exceção das já existentes.
COP 2030	Países reduzem emissões de acordo com suas INDCs.	Controle do desmatamento ilegal (zerar até 2030).	Ações específicas para agropecuária, florestas e energia renovável, esforços em 2030 serão mantidos até 2050.	Mercados domésticos de permissões de emissões para todos os GEEs embasados nas INDCs até 2030 e intensificados até 2050.
COP	Países reduzem emissões de acordo com suas INDCs.	Controle do desmatamento ilegal (zerar até 2030).	Ações específicas para agropecuária, florestas e energia renovável, esforços em 2030 serão intensificados até 2050.	Mercados domésticos de permissões de emissões para todos os GEEs embasados nas INDCs até 2030 e intensificados até 2050.

TAX	Países reduzem emissões de acordo com suas iNDCs.	Controle do desmatamento ilegal (zerar até 2030).	Tributação às emissões de GEEs setorialmente definidas, sem comércio de permissões de emissões, até 2050.	Mercados domésticos de permissões de emissões para todos os GEEs embasados nas iNDCs até 2030 e intensificados até 2050.
TAX CO₂	Países reduzem emissões de acordo com suas iNDCs.	Controle do desmatamento ilegal (zerar até 2030).	Tributação às emissões apenas de CO ₂ , setorialmente definidas, sem comércio de permissões de emissões, até 2050.	Mercados domésticos de permissões de emissões para todos os GEEs embasados nas iNDCs até 2030 e intensificados até 2050.
Cap-and-Trade	Países reduzem emissões de acordo com suas iNDCs.	Controle do desmatamento ilegal (zerar até 2030).	Mercado doméstico de permissões de GEEs cobrindo todos os setores até 2050.	Mercados domésticos de permissões de emissões para todos os GEEs embasados nas iNDCs até 2030 e intensificados até 2050.
(Cap-and-Trade de CO₂)	Países reduzem emissões de acordo com suas iNDCs.	Controle do desmatamento ilegal (zerar até 2030).	Mercado doméstico de permissões de CO ₂ cobrindo todos os setores até 2050.	Mercados domésticos de permissões de emissões para todos os GEEs embasados nas iNDCs até 2030 e intensificados até 2050.

Os cenários implementados podem ser descritos como:

1. Cenário de referência (*business as usual* – BAU):

desconsidera a aplicação de políticas de mudança do clima direcionadas à precificação do carbono em qualquer país do mundo, excetuando as políticas existentes, como o estágio atual da EU-ETS. As metas de produção e consumo de biocombustíveis nos EUA e na UE são mantidas, por já fazerem parte da política atual ou anunciadas como certas. No caso brasileiro, as políticas atuais de controle do desmatamento na Amazônia e no Cerrado são mantidas, contudo de forma mais branda, considerando os níveis médios de desmatamento observados entre 2000 e 2010.

2. Cenário COP 2030:

considera a implementação de políticas de mudança do clima em todas as regiões e países do mundo, via mercados domésticos de permissões de carbono, de maneira a atingir os compromissos apresentados pelos países na COP-21, em

Paris, em dezembro de 2015^{III}. No caso brasileiro, a redução das emissões de GEE foi estabelecida em 37% de corte absoluto em relação às emissões do ano de 2005, a ser atingida em 2025, e 43% de redução pretendida em 2030, o que significa reduzir as emissões de cerca de 2,1 GtCO₂-Eq., em 2005, para 1,3 GtCO₂-Eq., em 2025, e 1,2 GtCO₂-Eq. em 2030. Tais metas devem ser atingidas considerando as ações já anunciadas pelo governo, como:

- Acabar com o desmatamento ilegal;
- Restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas;
- Recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas;
- Integrar 5 milhões de hectares de lavoura-pecuária-florestas;
- Alcançar uma participação de 45% de fontes renováveis no total da matriz energética;
- Expandir para 23% a participação de fontes renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica (eólica+solar+biomassa);
- Aumentar em 10% a eficiência elétrica; e
- Aumentar a participação de bioenergia sustentável no total da matriz energética para 18%.

Portanto, implementa-se tal cenário para o Brasil a partir de incentivos e subsídios capazes de induzir os segmentos econômicos a alcançar as metas quantitativas de área (restaurada, recuperada e integrada) e de participação das diferentes fontes renováveis na matriz e na produção elétrica. **Não são implementados instrumentos de precificação de carbono neste caso.**

Como a definição sobre possíveis metas de redução de emissões pós-2030 será realizada apenas daqui a alguns anos, optou-se por considerar nesse cenário que as ações acima não serão intensificadas após 2030, mas os incentivos fornecidos até então às energias renováveis e à intensificação das atividades agropecuárias e recuperação de áreas degradadas serão mantidos até 2050.

III Em todos os cenários de implementação de políticas de mudança do clima, consideram-se para os demais países do mundo o mesmo tipo de política e o mesmo nível de redução em emissões. Como o objetivo é testar diferentes formas de mitigar emissões no Brasil, deve-se manter os mesmos instrumentos e níveis de corte em emissões nas demais regiões, evitando assim que haja "contaminação" de escolhas alternativas de política nas demais regiões sobre os resultados de diferentes políticas de mudança do clima sobre a economia brasileira.

3. Cenário COP:

considera a implementação de políticas de mudança do clima como no cenário anterior (**COP2030**), contudo, **intensificam-se as ações de reduções em emissões após 2030, por meio do fornecimento de incentivos cada vez mais expressivos às energias renováveis.**

4. Cenário Tax:

considera-se, no Brasil, a imposição de uma tributação^{IV} à emissão de Gases de Efeito Estufa definida setorialmente para atingir reduções de emissões de 37%, em relação a 2005, no ano de 2025 e 43% no ano de 2030. Impõe-se um mesmo nível de corte em emissões em todos os setores, incluindo o consumo das famílias, sem a possibilidade de comercialização de permissões de emissões entre os setores. No caso das emissões provenientes do desmatamento, consideram-se as mesmas ações implementadas no cenário **COP**, qual seja, a de acabar com o desmatamento ilegal.^V

Essas políticas de mudança do clima são estendidas até o ano de 2050, de forma a atingir um corte hipotético de 60% nas emissões totais em relação ao ano de 2005. No caso das demais regiões do mundo, implementam-se as políticas de mudança do clima via mercados domésticos de permissões de emissões, conhecidos como **cap-and-trade**, para atingir as metas acordadas na COP21 e a continuidade de redução de emissões no período pós-2030^{VI}.

O cenário considera o corte em emissões de todos os tipos de Gases de Efeito Estufa, utilizando como medida de conversão de emissões de outros gases para o CO₂ a métrica usual do Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential – GWP*), utilizada pelo MCTI nas Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (MCTI, 2014).^{VII}

5. Cenário Tax CO₂:

considera-se no Brasil a imposição de impostos à emissão apenas do gás CO₂, definidos setorialmente, de modo a atingir reduções de emissões de 37%, em relação a 2005, no ano de 2025 e 43% no ano de 2030^{VIII}. As emissões de outros Gases de Efeito Estufa no Brasil não são limitadas nesse cenário. Como no cenário **Tax**, impõe-se um mesmo nível de corte

IV Utilizam-se aqui os termos "tributação" e "imposto" em vez de "taxa", uma vez que o tributo (ou imposto) introduzido no modelo não tem destinação específica, ou seja, trata-se de um instrumento tributário de arrecadação de impostos que gera uma receita para o setor público, em vez de um mecanismo de incentivo tecnológico ou de distribuição de renda a algum grupo específico.

V Emissões provenientes de mudanças no uso da terra e desmatamento são usualmente consideradas nas discussões internacionais em paralelo às medidas de redução de emissões por uso de combustíveis fósseis e por processos industriais e agropecuários, o que justifica aqui tratar em todos os cenários das medidas de cortes em emissões de mudanças no uso da terra separadamente dos cortes em emissões nos demais setores.

VI Justifica-se a implementação de trajetórias mais ambiciosas de redução em emissões após 2030 pela constatação na literatura científica de que as INDCs levadas a Paris não permitem, em conjunto, manter o aumento da temperatura média do planeta abaixo dos 2°C., como noticiado em <http://www.scientificamerican.com/article/paris-talks-won-t-limit-global-warming-to-less-than-2-degrees-celsius/>.

VII O GWP é uma medida de conversão para que se permitam a soma e a comparação de diferentes Gases de Efeito Estufa. Essa medida procura ponderar o potencial de aquecimento que um determinado Gás de Efeito Estufa teria em relação ao CO₂, permitindo assim uma medida de conversão de outros gases em equivalente CO₂. Como exemplo, pelo GWP, considera-se que 1 tonelada de gás metano (CH₄) seria equivalente a 21 toneladas de gás CO₂ em termos do seu potencial de aquecimento.

VIII A imposição de tributação apenas sobre o gás CO₂ permite comparar os custos de mitigação em relação ao cenário em que todos os GEEs são tributados. Como a complexidade da tributação sobre todos os GEEs é maior do que apenas a tributação ao CO₂, a comparação desses cenários é oportuna para indicar se tal complexidade é compensada por menores custos de mitigação.

em emissões em todos os setores, incluindo o consumo das famílias, sem a possibilidade de comercialização de créditos de carbono entre os setores. Emissões provenientes do desmatamento e nas demais regiões do mundo são tratadas como no cenário **Tax**.

6. Cenário Cap-and-trade:

nesse cenário, impõe-se no Brasil um sistema de mercado de permissões de emissões (**cap-and-trade**), cobrindo todos os Gases de Efeito Estufa, no qual todos os setores econômicos são obrigados a participar (com exceção do setor de uso da terra, que continua reduzindo emissões pelo combate ao desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado). Nesse sistema, créditos ou permissões de emissões são distribuídos às empresas e consumidores do país em uma quantidade inferior às emissões observadas no cenário **BAU**, de sorte que a emissão total de Gases de Efeito Estufa seja restringida a 37% no ano de 2025 e 43% no ano de 2030, em relação a 2005, já considerando nesse percentual a redução de emissões do desmatamento, que não participa do mercado de permissões de emissões. Os diferentes setores econômicos podem comprar e vender créditos de emissões, sendo o preço de comercialização desses créditos definido endogenamente, de acordo com a demanda de permissões pelos diferentes setores e o total de créditos ofertados. Essa política de mudança do clima é estendida até o ano de 2050, com o objetivo de atingir um corte total de 60% nas emissões em relação ao ano de 2005, incluindo os cortes em emissões de mudanças no uso da terra. As demais regiões do mundo também implementam políticas de mudança do clima via mercados domésticos de permissões de emissões, com vistas a atingir as metas acordadas na COP21 e a continuidade de redução de emissões no período pós-2030

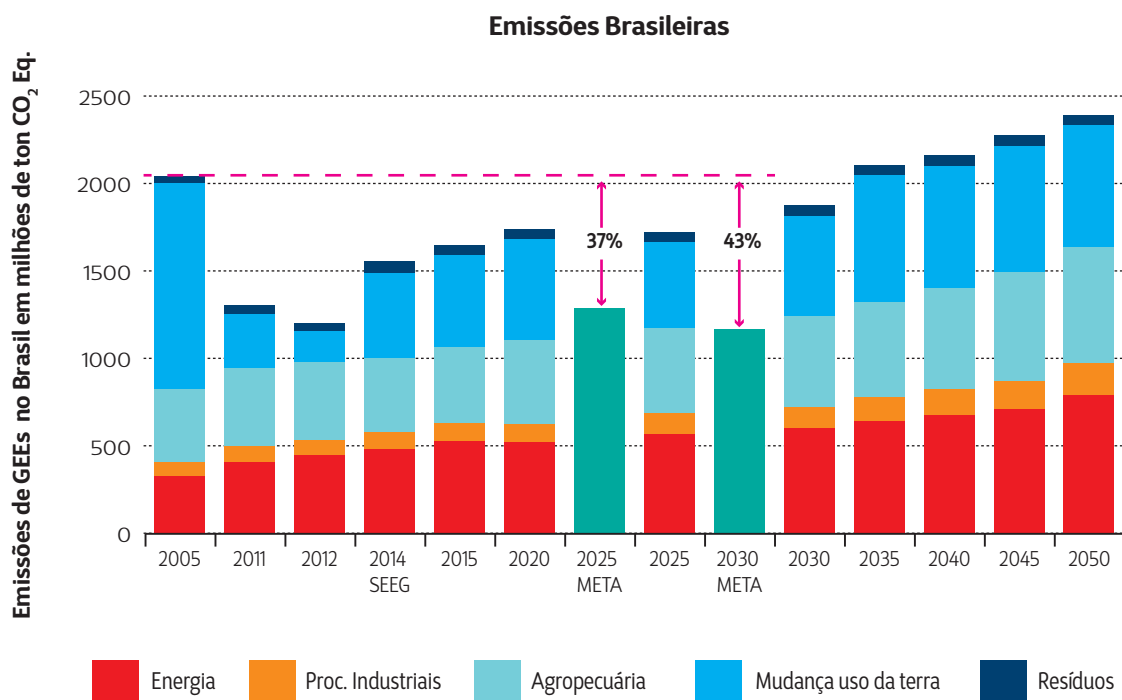
7. Cenário Cap-and-Trade CO₂:

esse cenário é similar ao **cap-and-trade** descrito anteriormente, com a diferença de que o mercado de emissões é imposto apenas sobre as emissões do gás CO₂. Mantêm-se as metas de redução de 37% nas emissões, em relação a 2005, no ano de 2025, 43% no ano de 2030 e 50% no ano de 2050. A compra e a venda de créditos de CO₂ determinam o preço de comercialização desses créditos. As demais regiões do mundo também implementam mercados domésticos de permissões de emissões, porém, cobrindo todos os Gases de Efeito Estufa.

A **Figura 2** apresenta a trajetória das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa por setores no cenário **BAU**. Os dados até 2012 são oficiais, oriundos das Estimativas Anuais de Emissões (MCTI, 2014), enquanto os

dados de 2014 são provenientes do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG)^{IX}. Os números, a partir de 2015, são projeções do modelo utilizado na pesquisa. A **Figura 2** apresenta também os níveis de cortes em emissões esperados através das INDCs brasileiras^X.

Figura 2. Emissões de gases de efeito estufa no Brasil por setor de emissões.



Fontes: MCTI (2014) para os dados de 2005 a 2012^{XI}; SEEG^{XII} para o dado de 2014; projeções do modelo de 2015 a 2050.

IX Disponível em: <http://seeg.eco.br/>

X O terceiro inventário brasileiro de Gases de Efeito Estufa foi finalizado recentemente e considera uma metodologia atualizada na mensuração das emissões provenientes de mudanças no uso da terra. Neste novo inventário, as emissões oficiais totais em 2005 foram de perto de 2,73 bilhões de ton. de CO₂ eq., enquanto, no inventário anterior, essas emissões eram de 2,04 bilhões ton. de CO₂ eq. (MCTI, 2014). Tal mudança pode alterar o volume máximo de emissões que se espera alcançar em 2025 e em 2030, a partir do cumprimento das INDCs apresentadas no Acordo de Paris, uma vez que a meta brasileira foi especificada como meta percentual em relação às emissões de Gases de Efeito Estufa em 2005. Nesse caso, as emissões máximas deveriam atingir 1,72 bilhão de ton. de CO₂ eq. em 2025 e 1,56 bilhão de ton. de CO₂ eq. em 2030. Como o modelo projeta emissões de 1,72 bilhão de ton. de CO₂ eq. em 2025 e 1,87 bilhão de ton. de CO₂ eq. em 2030, para o cumprimento da meta brasileira não seria necessária uma redução efetiva de emissões em 2025, mas apenas perto de 17% de redução em 2030. Como as INDCs brasileiras levadas a Paris foram baseadas no 2º Inventário, optou-se por simular no presente Estudo as reduções em emissões com base nas emissões para 2005 deste 2º Inventário. Considerando o objetivo do presente Estudo, qual seja, apontar os impactos das INDCs e possíveis alternativas de políticas capazes de atingir níveis similares de cortes em emissões, as emissões esperadas para o novo inventário não alteram as conclusões do Estudo.

XI Os dados oficiais de 2005, 2011 e 2012 apresentados na Figura 1 dizem respeito ao 2º Inventário Brasileiro de Emissões e às estimativas oficiais de emissões do MCTI (MCTI, 2014), uma vez que, apesar da disponibilidade dos dados do 3º Inventário Brasileiro, as INDCs brasileiras apresentadas na COP-21 em Paris consideram os dados oficiais de 2005 como contidos no 2º Inventário.

XII Disponível em: <http://seeg.eco.br/>

O modelo projeta uma trajetória crescente de emissões ao longo do tempo, com crescimento mais pronunciado daquelas provenientes do uso de energia. Da mesma forma, as provenientes de mudanças no uso da terra e da agropecuária também continuam expressivas no decorrer do período considerado. Vale notar que as emissões de mudanças no uso da terra projetadas pelo modelo estão mais próximas das estimadas pelo SIEG, sendo bem mais relevantes do que as realizadas pelo MCTI (2014).

As emissões projetadas pelo modelo refletem aspectos como a taxa de crescimento da economia brasileira, o padrão de uso de combustíveis fósseis e suas mudanças ao longo do tempo, as alterações na competitividade dos setores em relação aos seus concorrentes internacionais, a expansão da produção agrícola, dentre outros. A taxa de crescimento do PIB da economia é o parâmetro macroeconômico que mais influencia a projeção de emissões.

A **Tabela 3** apresenta as taxas de crescimento do PIB projetadas pelo modelo no período de 2015 a 2050, em relação ao PIB de 2015, que refletem recentes revisões de organismos internacionais a respeito das perspectivas de crescimento do País. No período entre 2015 e 2020, adotou-se uma variação ligeiramente superior ao valor de 2,09% previsto pelo FMI, uma vez que taxas inferiores ao valor utilizado provocariam crescimento quase nulo nas emissões de Gases de Efeito Estufa, a ponto de praticamente não justificar qualquer corte de emissões em 2020. Vale ressaltar, de qualquer modo, que, diante das incertezas macroeconômicas na conjuntura política e econômica atual, as previsões para a variação do PIB brasileiro até 2020 mostram-se bastante voláteis.

Tabela 3 - Taxa de crescimento do PIB brasileiro projetada pelo modelo

Ano	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Taxa %	2,48	2,72	2,78	2,80	2,77	2,75	2,74

Fonte: projeções do modelo

A **Figura 3** apresenta as projeções do modelo no tocante às mudanças no uso da terra no cenário **BAU**, acumuladas em relação ao ano de 2015. Estas consideram níveis de desmatamento dos biomas Amazônia e Cerrado compatíveis com os observados entre os anos 2000 e 2010, ou seja, desconsideram esforços contínuos e intensivos para a redução do desmatamento, após 2010, uma vez que o cenário **BAU** tem a intenção de representar a ausência de políticas ativas capazes de conter as emissões de Gases de Efeito Estufa.

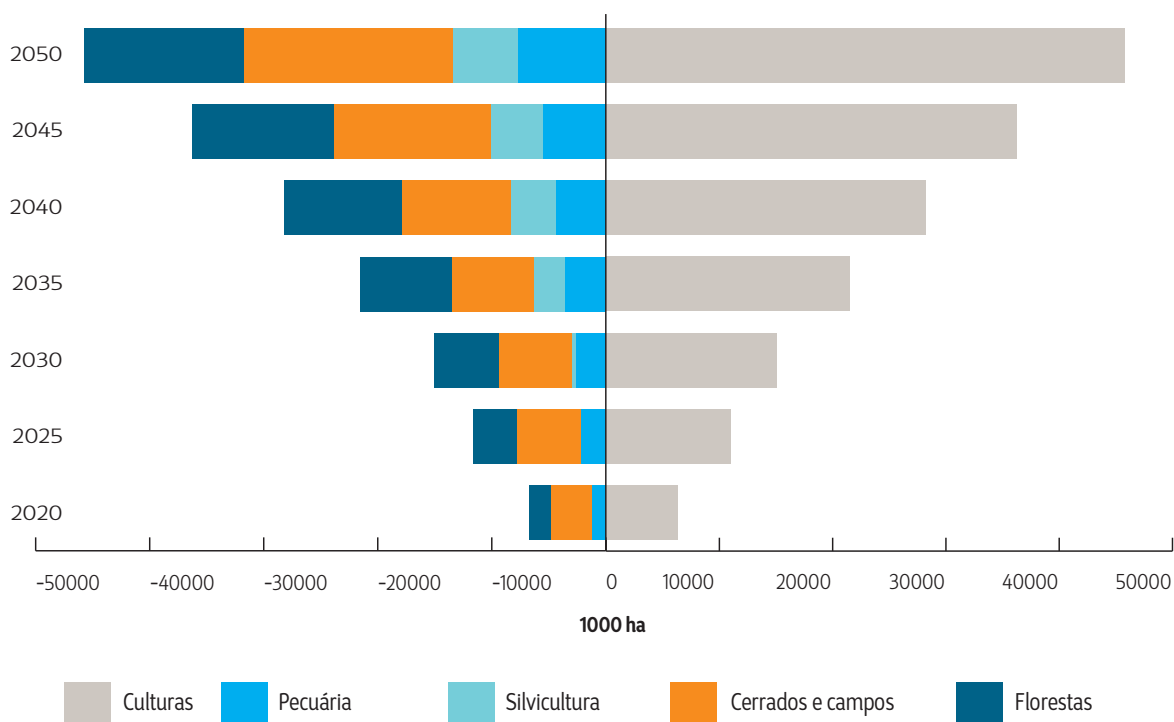
Como exemplo de Iniciativas Relevantes, implementadas após 2010, está a aprovação do Novo Código Florestal, que ainda não começou a produzir os seus efeitos, tanto pelo tempo de internalização da Lei pelos Estados quanto pelos prazos estabelecidos para a recomposição ambiental.

Por conseguinte, esse cenário é considerado pessimista e não se acredita que possa ocorrer, mas é relevante para parametrizar os demais, bem como para lançar um alerta com relação à necessidade da implementação de políticas públicas, em geral, e, em particular, da urgente regulamentação do Programa de Regularização Ambiental em todo o território nacional.

Os resultados sugerem a expansão contínua da área de culturas agrícolas no País sobre todas as outras categorias de uso e ocupação da terra, incluindo pastagens.

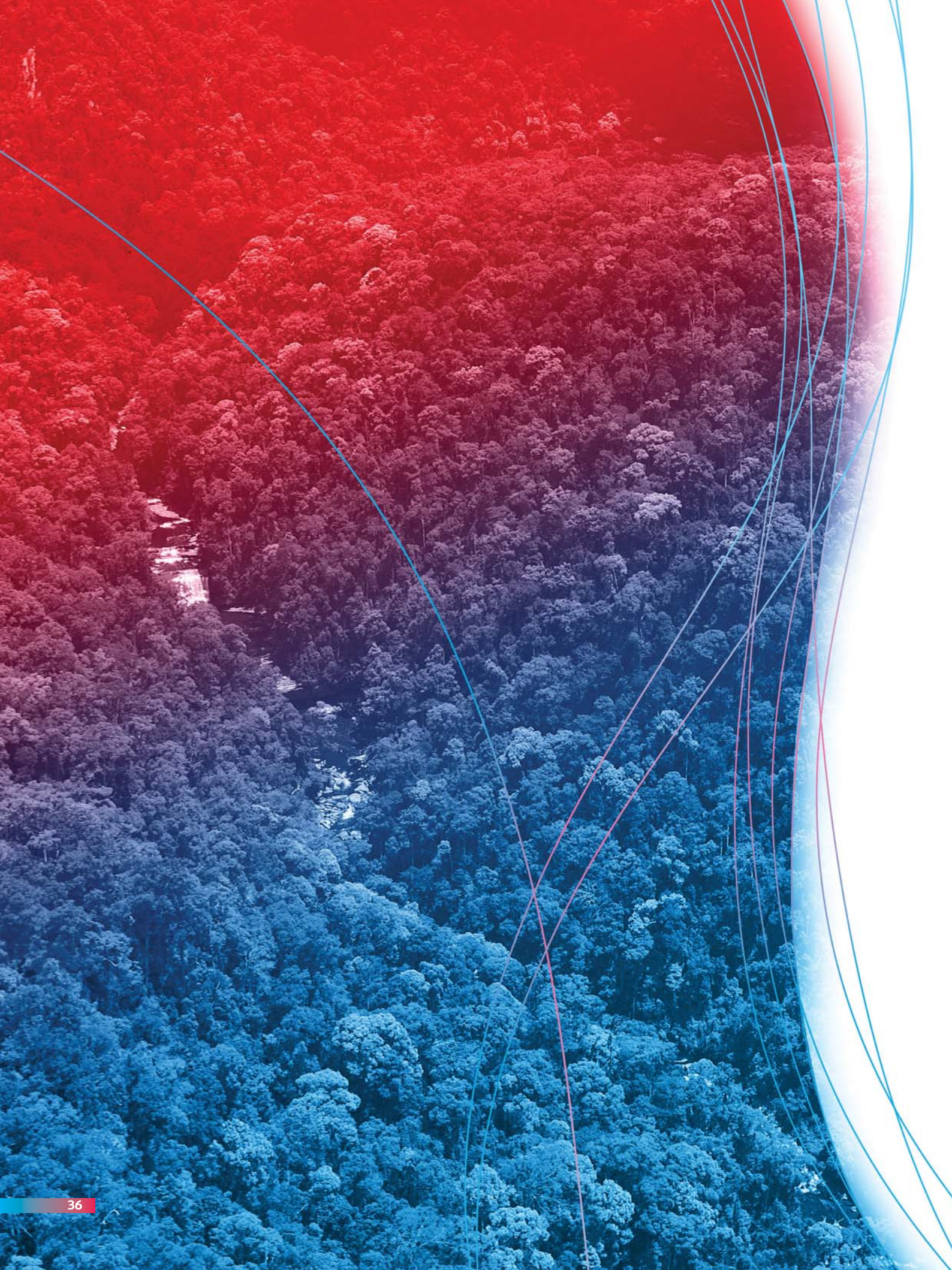
A área total de culturas teria uma expansão de 51 milhões de ha em 2015 para 95 milhões de ha em 2050, enquanto as pastagens seriam reduzidas de 182 milhões de ha em 2015 para 175 milhões de ha em 2050.

Figura 3. Mudanças no uso da terra no cenário BAU em relação a 2015.



Fontes: projeções do modelo.

Como mencionado, as emissões de GEE observadas no cenário **BAU** serão utilizadas como linha de base para mensurar os impactos dos demais cenários, os quais simulam medidas e políticas de reduções em emissões.



RESULTADOS

Esta seção apresenta e discute os resultados dos cenários implementados no modelo econômico.

5.1 Efeitos dos cenários sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa

A **Figura 4**, a seguir, apresenta as trajetórias de emissões de GEE no Brasil nos diferentes cenários implementados. A linha pontilhada escura, denominada “Target”, representa a trajetória de redução de emissões para se alcançarem as metas defendidas pelo País no Acordo de Paris até 2030 e, após isso, para se atingirem, aproximadamente, 60% de redução nas emissões brasileiras até 2050, em relação às emissões oficiais de 2005^{XIII}.

As emissões de GEE no cenário **COP2030** indicam que as INDCs propostas pelo País seriam capazes de reduzir as emissões brasileiras em níveis próximos às metas apresentadas até 2030, contudo, não seriam plenamente suficientes.

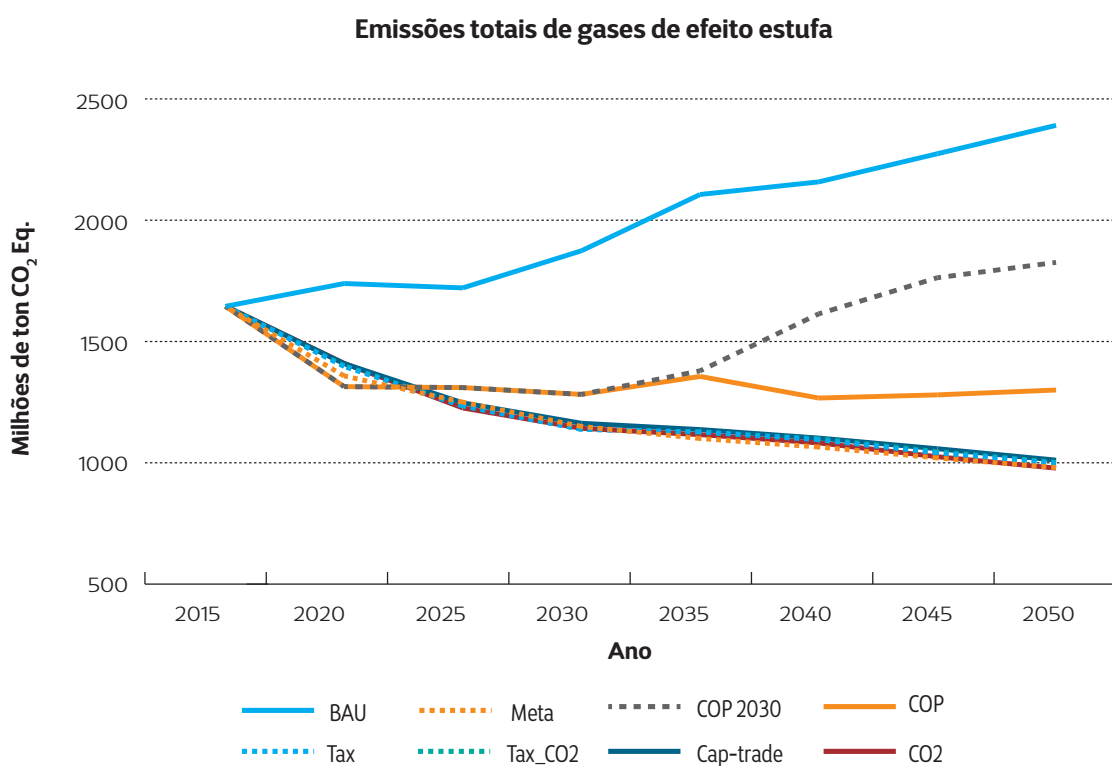
Uma possível razão para a curva de emissões do cenário **COP2030** não atingir a curva Target seria o fato de o Inventário Nacional de Emissões ainda não contabilizar as potenciais reduções em emissões e sequestro de carbono nos solos de pastagens e áreas agrícolas advindas das ações de recuperação de pastagens degradadas e de intensificação lavoura-pecuária-floresta.

Por isso, optou-se em não representar essas reduções e remoções no modelo, já que o debate metodológico para a sua correta consideração ainda não foi concluído.

XIII As emissões de Gases de Efeito Estufa no ano de 2005 calculadas pelo 2º Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa foram consideradas no presente Estudo como referência para projeção das metas de redução de emissões, uma vez que as INDCs brasileiras acordadas na COP21 foram calculadas com base nos dados desse 2º Inventário.

Pela importância e grande potencial de mitigação dessas práticas conservacionistas ligadas à atividade agrícola e à pecuária, torna-se imprescindível que as emissões e os sequestros de carbono nos solos de pastagens e sistemas integrados agroflorestais sejam mensurados e adicionados ao Inventário Brasileiro, sob o risco de que as reduções líquidas em emissões previstas nessas áreas não venham a ser consideradas para o cumprimento das metas futuras.

Figura 4. Projeções de emissões totais de Gases de Efeito Estufa (em CO₂ Eq.) no Brasil nos cenários implementados.



Fonte: projeções do modelo

Os resultados da **Figura 4**, para o cenário **COP2030**, evidenciam que as emissões voltarão a crescer após 2030, o que significa que os incentivos dados até essa data para a expansão das fontes de energia renovável, recuperação de áreas degradadas e de pastagens, além da integração lavoura-pecuária-floresta, embora sejam muito bem-sucedidos até aquela data, não impedem, per se, o crescimento das emissões pós-2030, uma vez que as demais fontes de emissões, como as oriundas do uso de energia fóssil e da economia em geral, continuam crescendo.

Já no cenário **COP**, a intensificação dos incentivos às reduções de emissões, nos moldes do que o País se propôs no Acordo de Paris, permite estabilizar as emissões e impedir o seu crescimento. Contudo, não é possível atingir, com tais incentivos, a

trajetória de redução de emissões aqui proposta, o que, da mesma forma como observado no cenário **COP2030**, demonstra em certo momento o esgotamento do potencial de redução de emissões via incentivo praticamente exclusivo às fontes renováveis, recuperação de áreas degradadas e redução do desmatamento. Esse resultado indica que as INDCs brasileiras propostas em Paris são capazes de contribuir para que o País atinja as metas de redução em emissões previstas até 2030, entretanto, após 2030, será preciso buscar outras formas para a redução das emissões, caso o País esteja determinado a continuar contribuindo para uma economia de baixo carbono no futuro.

Já os cenários de implementação de tributos setoriais às emissões de GEE (**Tax**) ou só de Carbono (**Tax_CO₂**) e de implementação de mercados de permissões tipo **cap-and-trade** (**cap-and-trade** e CO₂) são aplicados no modelo de forma a atingir as metas quantitativas propostas na COP21 de cortes em emissões, bem como intensificar esses cortes ao longo do tempo. Isso acontece uma vez que essas políticas são definidas no modelo por meio de limites quantitativos em emissões, que precisam ser cumpridos pelos diferentes agentes econômicos, com o pagamento de tributos (cenários **Tax** e **Tax_CO₂**) ou a partir de mercados de créditos (permissões) de emissões (cenários **cap-and-trade** e CO₂). A diferença desses cenários em relação aos cenários **COP2030** e **COP** é de que todos os setores da economia devem contribuir com cortes em emissões, em vez de o esforço ficar concentrado em apenas alguns setores ou atividades. Embora sejam projetados para atingir as metas, possuem resultados bastante diferenciados na relação custo-benefício para a economia.

Os cenários de pagamento de tributos (**Tax** e **Tax_CO₂**) e os de **cap-and-trade** (cenários **cap-and-trade** e CO₂) não possuem diferenças em termos de cortes em emissões, mas, sim, na forma de aplicação da política. Nos cenários de tributos, cada setor precisa reduzir suas emissões em um dado percentual, considerado aqui como sendo o mesmo nível de redução para todos os setores, o que implicará pagamento de tributos ou impostos às emissões diferenciadas entre setores, já que os custos de mitigação são bastante variáveis entre eles.

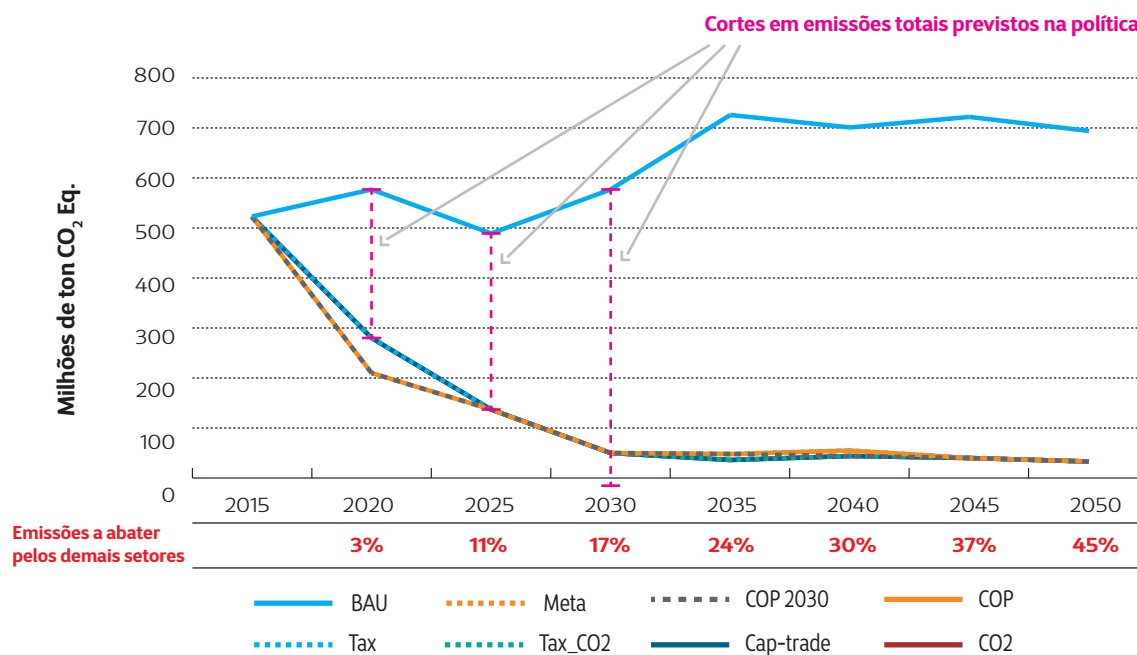
É importante salientar que um cenário futuro de cobrança de tributos às emissões pode não se basear na regra aqui adotada, de cortes percentuais em emissões iguais para todos os setores e atividades econômicas. De fato, a atual política de mudança do clima brasileira, vigente até 2020, está baseada em planos setoriais, com metas de cortes em emissões diferenciadas entre setores, porém, abrangem um número restrito de setores e atividades.

Como não há, hoje, nenhuma indicação de quais setores seriam incluídos e que níveis de cortes em emissões seriam determinados em uma futura política à base de impostos setoriais às emissões, optou-se por simular aqui a aplicação dessa política em todos os setores da economia, com a mesma meta percentual de redução em emissões em cada um deles. Essa escolha permitirá evidenciar como políticas setoriais podem provocar impactos bem diferentes entre atividades e setores da economia, como já mencionado.

Já nos cenários de mercados de permissões de emissões, o preço a ser pago pela tonelada de carbono emitida é igual entre todos os setores, mas cada setor é livre para abater suas emissões na quantidade que lhe convier, sendo a meta nacional de redução de emissões assegurada pela soma das reduções setoriais.

Um importante componente das políticas simuladas nos cenários **COP** e **COP2030** é a redução em emissões provenientes de mudanças no uso da terra. A **Figura 5** apresenta as projeções das emissões de mudanças no uso da terra (desmatamento) nos diferentes cenários. A figura ainda traz, por meio das barras horizontais, uma indicação do volume total de emissões que seria necessário reduzir até 2030 para atingir a meta comprometida na COP21, deixando evidente a importância do controle do desmatamento para o cumprimento dessa meta.

Figura 5. Projeções de emissões de Gases de Efeito Estufa (em CO₂ Eq.) de mudanças no uso da terra no Brasil nos cenários implementados.



Fonte: projeções do modelo

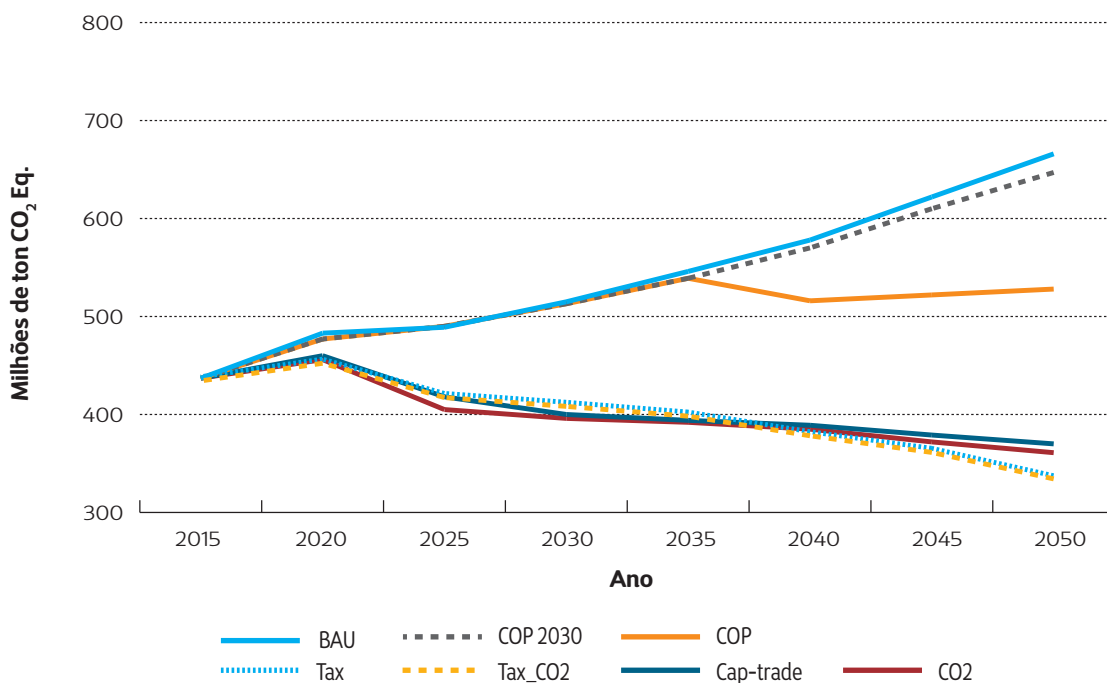
Como consequência da redução em emissões via controle do desmatamento, o esforço de corte em emissões, nos demais setores e atividades da economia, necessário para que as metas de Paris sejam atingidas, é bastante reduzido até 2030. Tal esforço resume-se a cortes de 3% nas emissões dos demais setores da economia em 2020, 11% em 2025 e 15% em 2030. Já a partir de 2035, quando se esgotam as oportunidades de redução de emissões de mudanças no uso da terra, os cortes em emissões pelos demais setores e atividades da economia precisam ser de 22% naquele ano, alcançando até 44% em 2050.

A **Figura 6** apresenta as trajetórias de emissões de Gases de Efeito Estufa da agropecuária nos diferentes cenários simulados. As emissões desse setor não sofrem praticamente nenhuma mudança no cenário COP2030, já que, como mencionado, não são contabilizados os potenciais sequestros e reduções em emissões por acúmulo de carbono nos solos de pastagens

e de sistemas integrados no inventário brasileiro. Dessa forma, os incentivos a essas atividades apenas contribuem para intensificar a agropecuária e facilitar a recuperação e o reflorestamento de áreas de vegetação florestal e a redução do desmatamento.

No cenário COP2030, as emissões da agropecuária são estabilizadas em cerca de 500 milhões de Ton. CO₂ eq. após 2030, como resultado de gastos cada vez maiores com incentivos a fontes renováveis de energia e intensificação na agropecuária. Os cenários de implementação de mercados de carbono (cenários cap-and-trade e CO₂) estabilizam as emissões da agropecuária em cerca de 400 milhões de Ton. CO₂ eq., enquanto os cenários de tributos às emissões (Tax e Tax_CO₂) promovem menores reduções em emissões do que no caso de mercados de carbono até 2035, e depois diminuições mais pronunciadas.

Figura 6. Projeções de emissões de Gases de Efeito Estufa (em CO₂ Eq.) das atividades agropecuárias no Brasil nos cenários implementados.



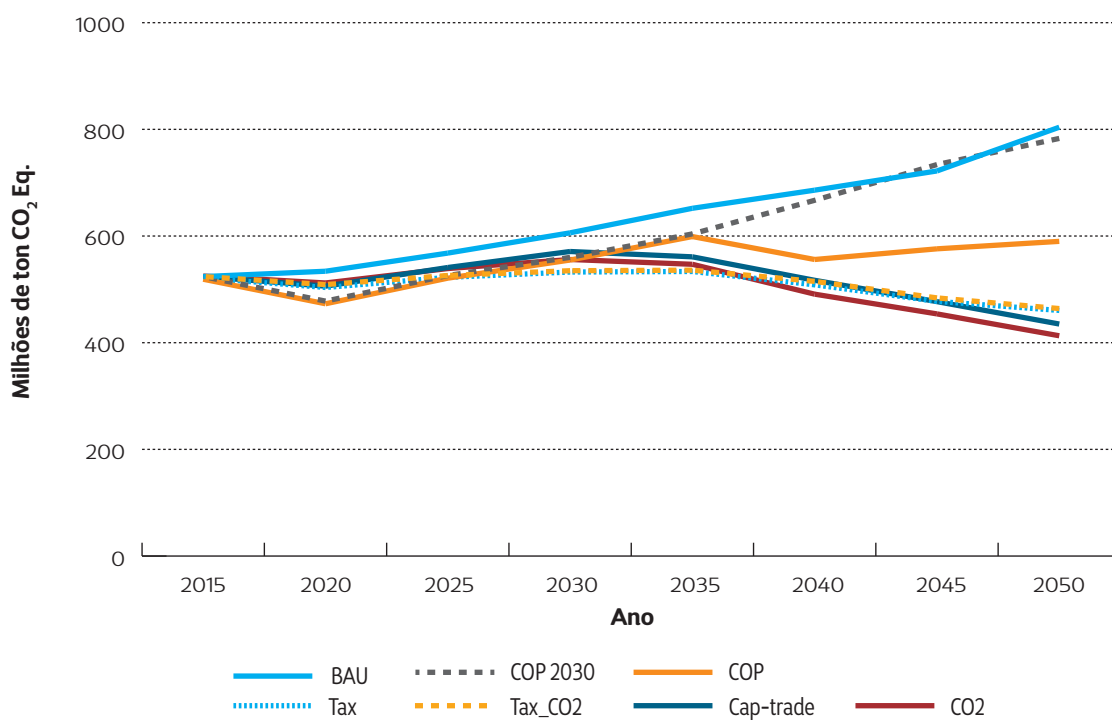
Fonte: projeções do modelo

As diferenças entre os resultados dos cenários de tributos e de mercados de carbono indicam que a agropecuária teria oportunidades mais baratas de cortes em emissões do que o restante da economia, tornando-se uma fornecedora líquida

de créditos de emissões até 2035. Contudo, após aquele ano, a agropecuária passa a demandar mais créditos de carbono do que possui, transformando-se em uma compradora líquida.

As emissões de Gases de Efeito Estufa provenientes do uso de energia nos diferentes cenários simulados são apresentadas na **Figura 7**. Os incentivos às fontes renováveis de energia são capazes de reduzir as emissões associadas ao uso de energia em cerca de 50 milhões a 60 milhões de Ton. CO₂ eq. até 2035 (cenário **COP2030**). Para reduções mais pronunciadas, é necessário intensificar os incentivos às fontes renováveis após essa data. No entanto, os incentivos diretos às fontes renováveis produzem efeitos positivos até um determinado limite, quando, a partir do qual, o setor atinge o seu pleno potencial de mitigação. Nesse caso, a continuidade da política de ampliação das medidas de incentivos diretos, após 2040, passa a não ser mais custo-efetiva, ou seja, a despeito dos gastos crescentes, os setores renováveis passam a responder menos aos estímulos, devido às restrições físicas e técnicas.

Figura 7. Projeções de emissões de Gases de Efeito Estufa (em CO₂ Eq.) do consumo de energia no Brasil nos cenários implementados.



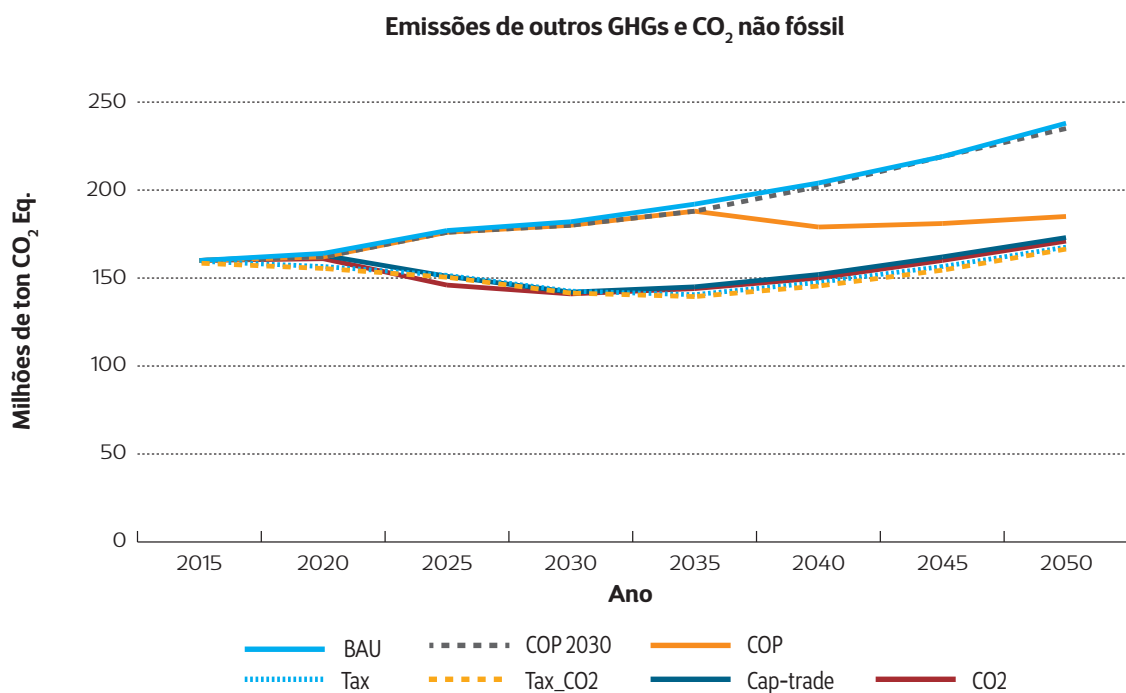
Fonte: projeções do modelo

Ainda, a continuidade do incremento dos gastos governamentais para essa finalidade significaria o redirecionamento de gastos públicos que poderiam ser utilizados para outros fins na economia, já que os recursos são limitados, bem como a redução de emprego de mão de obra e investimentos privados em setores que não recebem tais estímulos. Esses efeitos, em conjunto, explicam a queda na atividade econômica nesse cenário.

Os cenários de mercados de carbono (cenários **cap-and-trade** e CO_2) permitem o uso de fontes fósseis de energia por um período maior que os cenários de tributação às emissões (cenários **Tax** e **Tax_** CO_2), indicando que é possível obter créditos de emissões de outras atividades que possuem custos de mitigação relativamente mais baixos, como da agropecuária, por exemplo, e assim manter um nível um pouco maior de uso das energias de base fóssil.

Ademais, o cenário de cap-and-trade sobre todos os gases permite menores cortes em emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis do que o mercado de carbono restrito a emissões do gás CO_2 , já que, nesse último, não há como gerar e trocar créditos de emissões provenientes de cortes em outros Gases de Efeito Estufa diferentes do CO_2 , o que torna o mercado menos flexível.

Figura 8. Projeções de emissões de Gases de Efeito Estufa (em CO_2 Eq.) advindos de processos industriais e de resíduos no Brasil nos cenários implementados.



Fonte: projeções do modelo

A **Figura 8** mostra as emissões de Gases de Efeito Estufa e CO₂ provenientes das demais atividades, ou seja, oriundas dos processos industriais e de resíduos, não atrelados à queima de combustíveis fósseis, à atividade agropecuária e ao desmatamento. Os cenários **COP** e **COP2030** praticamente não produzem qualquer mudança na trajetória dessas emissões até 2035. A partir daí, o cenário **COP** gera menores emissões que o cenário **BAU**, por conta de efeitos negativos sobre a atividade econômica como um todo.

Já os cenários de tributação das emissões e de mercados tipo **cap-and-trade** permitem a redução dessas emissões em até 40 milhões de Ton. CO₂ eq. em 2030 e 70 milhões de Ton. CO₂ eq. em 2050. As reduções ligeiramente maiores nessas emissões sob os cenários de **cap-and-trade** até 2035 revelam que esses setores seriam, em conjunto, ofertadores líquidos de créditos de emissões, por possuírem oportunidades de mitigação relativamente mais baratas do que outros setores, como o de energia. No entanto, após 2035, tornam-se demandantes líquidos de créditos de emissões.

5.2 Impactos sobre a atividade econômica agregada

Os diferentes cenários de políticas de mudança do clima provocam alterações nos preços relativos de insumos energéticos, bem como de produtos e processos intensivos em emissões, modificando as escolhas de consumidores e produtores. Essas alterações nas escolhas determinam os resultados sobre a atividade econômica agregada, mensurada aqui pelo Produto Interno Bruto (PIB) da economia, ou seja, a soma do valor de todos os bens e serviços finais produzidos no País no período de um ano.

A **Figura 9** apresenta os resultados dos diferentes cenários sobre o Produto Interno Bruto brasileiro, em relação ao PIB projetado no cenário **BAU**, até 2030. Os cenários implementados possuem impactos relativamente modestos sobre o PIB, levando a uma redução de até 0,8% em relação ao PIB do cenário de referência (**BAU**), para um corte em emissões de até 43% em relação ao ano de 2005, que equivalem às reduções de até 39% em relação às emissões do cenário **BAU** no ano de 2030.

O impacto negativo em relação ao PIB, ainda que pequeno, representa os custos agregados de mudanças de processos e adoção de tecnologias que possibilitem atingir metas de redução em emissões de GEE no Brasil, ou seja, são os custos de transição para uma economia de baixo carbono. É relevante afirmar que isso não significa uma taxa de crescimento negativa do PIB, mas, sim, que o PIB cresce a uma taxa menor que no cenário **BAU**, na ausência de políticas de mudança do clima^{XIV}.

Nota-se, contudo, que as diferentes opções dessas políticas acarretam custos econômicos bastante diversos. Se as iNDCs anunciadas pelo País (cenário **COP**) quase não trazem custos agregados até 2025, e perdas de cerca de 0,7% do PIB em

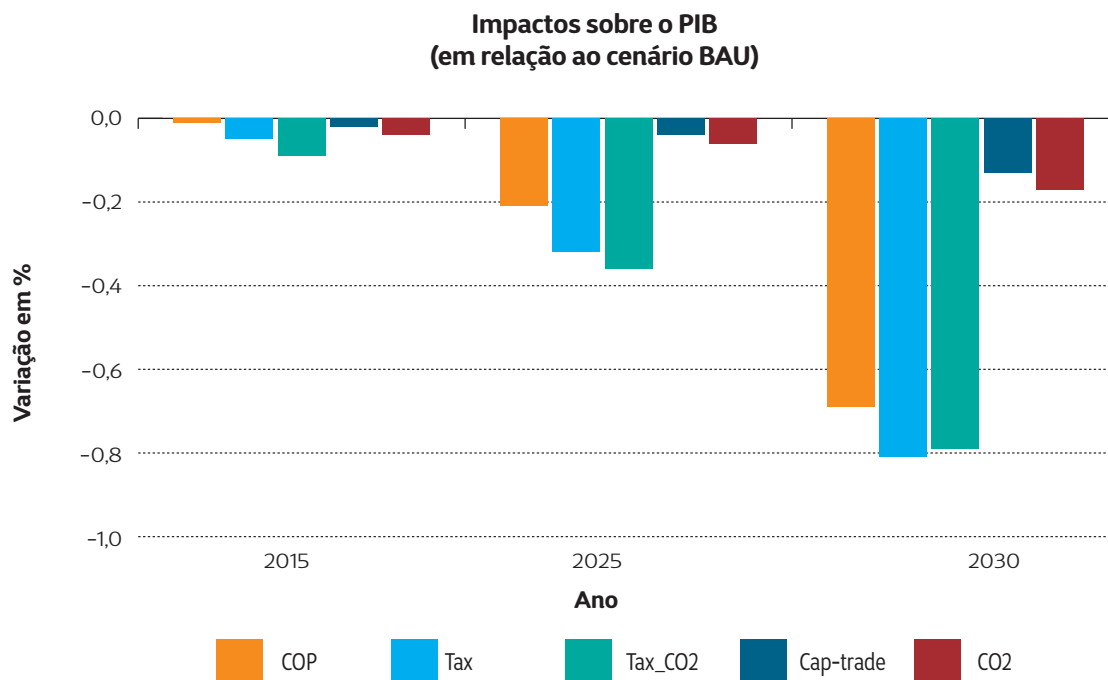
XIV A taxa de crescimento do PIB entre os anos de 2015 e 2030 projetada pelo modelo EPPA passa de 2,48% ao ano no cenário BAU para 2,42% no cenário de maiores perdas da Figura 8.

2030, em relação ao PIB do cenário **BAU**, o que pode ser considerado baixo, por outro lado, possuem um alcance limitado: atingem uma redução de apenas 37% nas emissões em relação ao observado no ano de 2005, porcentual inferior à meta de redução de 43% sinalizada na COP de Paris para aquele ano. De todo modo, é importante voltar a esclarecer que os resultados poderiam ser significativamente diferentes, **caso o País pudesse contabilizar o sequestro e a redução das emissões advindas das boas práticas agrícolas.**

Vale ressaltar que esses resultados são os mesmos para o cenário **COP2030**, não mostrado na figura, uma vez que os cortes em emissões são iguais em ambos os cenários até aquele ano. Já os cenários de tributação setorial às emissões (cenários **Tax** e **Tax_CO₂**) permitem alcançar as metas acordadas, porém, geram impactos mais significativos ao PIB, que poderá ficar 0,35% menor ao projetado no cenário **BAU** para 2025 e até 0,8% menor em 2030.

No entanto, as mesmas metas podem ser alcançadas a custos bem menores, de cerca de 0,15% do PIB, no caso dos cenários de mercados de créditos de emissões (cenários **cap-and-trade** e **CO₂**), evidenciando o quão mais custo-efetivos são os mecanismos de mercado de permissões de emissões em relação à imposição de metas setoriais individualizadas de tributação de emissões de GEE ou de carbono.

Figura 9. Mudanças no PIB (%) nos cenários de políticas de mudança do clima em relação ao cenário BAU até 2030.



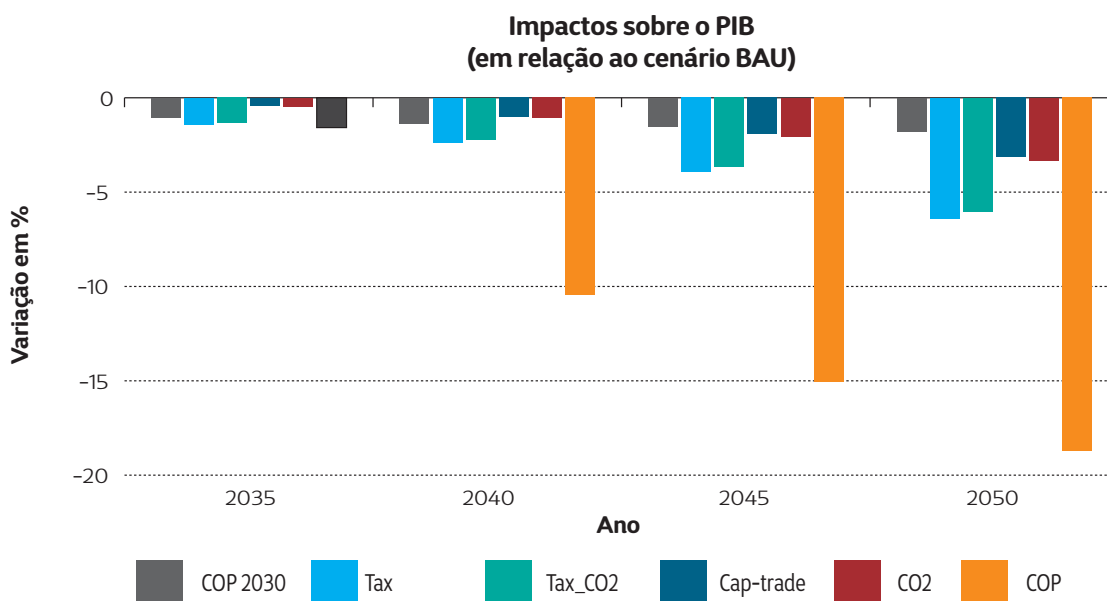
Fonte: projeções do modelo

As desacelerações na taxa de crescimento do PIB devem-se: aos aumentos em custo de produção, associados ao pagamento de tributos e créditos de emissões nas atividades que emitem Gases de Efeito Estufa; à necessidade de redução no consumo de energia e de aumento na eficiência do seu uso; e à necessidade de investimentos em capital, trabalho e outros insumos na substituição de energia, insumos e processos emissores de Gases de Efeito Estufa.^{XV}

No caso do cenário de política **COP**, os custos também estão associados aos incentivos dados às fontes energéticas renováveis, na forma de subsídios, que, como mencionado anteriormente, produzem efeitos muito positivos até um determinado limite, a partir do qual passam a não gerar os mesmos resultados.

Os impactos que um maior aporte de recursos públicos – na forma de incentivos que ultrapassem o limite das fontes renováveis – pode trazer à economia ficam mais evidentes na **Figura 10**. A partir de 2040, os mesmos estímulos, que produziram efeitos muito positivos no período anterior, passariam a provocar distorções na alocação de recursos públicos e privados na direção desses setores, especialmente com o crescimento dos montantes empregados que não conseguiriam responder com o provimento de energia em quantidade suficiente para atender à demanda.

Figura 10. **Mudanças no PIB (%) nos cenários de políticas de mudança do clima em relação ao cenário BAU de 2035 a 2050.**



Fonte: projeções do modelo

XV Deve-se ressaltar, contudo, que esses resultados não levam em conta os benefícios associados ao controle das emissões, ou seja, à redução nos possíveis danos e prejuízos que seriam causados pelas mudanças do clima no cenário BAU, o que caracterizaria uma análise de custo-benefício. A falta de informação e a incerteza sobre os potenciais danos que as mudanças do clima causariam nos mais diferentes setores e atividades, bem como no momento em que tais perdas se materializariam, limitam o desenvolvimento de análises de custo-benefício.

Isso acontece devido às limitações de ordem tecnológica e econômica existentes no caso das fontes eólica e solar, como intermitência, por exemplo, e de capacidade potencial nos casos das fontes hídricas e de biomassa. A taxa de crescimento do PIB desacelera no cenário de política em relação ao cenário BAU, ou seja, o nível do PIB chega a reduzir em até 20% em relação ao PIB do cenário de referência em 2050^{XVI}.

Esse resultado, juntamente com os evidenciados na Figura 3, de insucesso do cenário COP em atingir as metas de reduções em emissões após 2035, sinaliza que o modelo de política de mudança do clima desenhado pelo País no Acordo de Paris possui um limite de alcance, que se esgota a partir de 2030. Insistir nesse modelo (aumento de incentivos com recursos públicos) de estímulos crescentes às fontes renováveis para intensificações futuras nos cortes às emissões pode trazer significativos prejuízos à atividade econômica. Dessa forma, a promoção às fontes renováveis precisa ser definida e ponderada considerando seus limites de custos e de capacidade, bem como nos potenciais de contribuição para a matriz energética brasileira, de modo a buscar a sua participação ótima.

Já os cenários Tax e Tax_CO₂ de impostos às emissões trazem custos à economia que se refletem em um PIB até 1,3% menor que o projetado em 2035 e até 6% menor que o projetado em 2050, enquanto os cenários de mercados de créditos de emissões geram custos, analogamente, de 0,5% do PIB em 2035 a 3,2% em 2050.

Esses resultados reforçam os sinais de ganhos de eficiência na economia e na mitigação das emissões no caso de adoção de políticas de cap-and-trade.

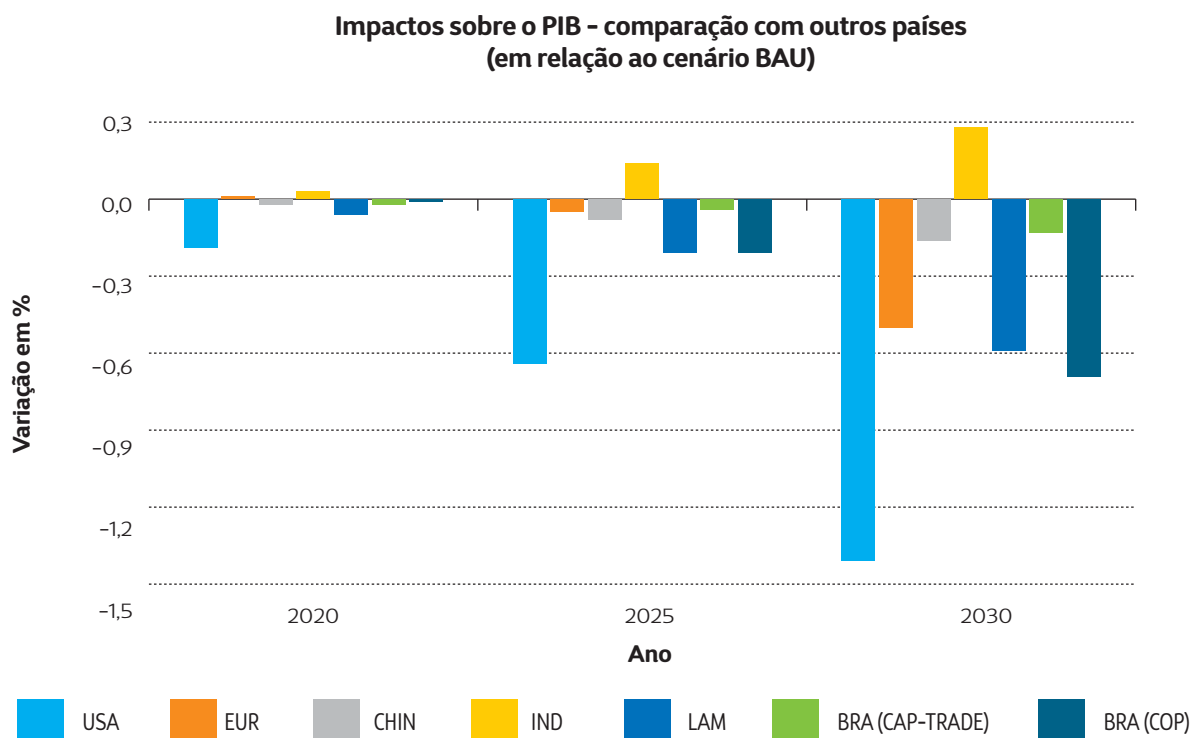
Os custos mais elevados da taxação de emissões devem-se à aplicação dessa política, por meio de metas setoriais de redução em emissões iguais para todos os setores, sem a possibilidade de comercialização de permissões de emissões entre setores. Na política de cap-and-trade (mercados de créditos), permite-se que setores com menores custos de mitigação realizem maiores esforços de redução em emissões, gerando créditos que podem ser vendidos a setores com elevados custos de mitigação, facultando que esses últimos reduzam menos suas emissões e gastem poucos recursos com processos muito dispendiosos de mitigação. Uma consequência indireta importante da política de cap-and-trade, que contribui para que os custos econômicos agregados de políticas de mudança do clima sejam menores, é que os setores e atividades econômicas mais intensivos em emissões, ao se depararem com custos menores de mitigação, através da compra de créditos de emissões, sofrem menores impactos negativos em termos de competitividade internacional.

Os efeitos da adoção de diferentes opções de políticas de mudança do clima sobre a competitividade do País perante os demais parceiros internacionais ficam mais evidentes quando se comparam os resultados sobre o PIB de diferentes países. A **Figura 11** apresenta tais resultados para um grupo selecionado de países e regiões do modelo, relativos ao período de 2020 a 2030, enquanto a Figura 12 considera o período de 2035 a 2050.

XVI A taxa de crescimento do PIB de 2015 a 2050 no cenário COP seria de 2,08% ao ano, enquanto no cenário BAU essa taxa é de 2,74%.

Essas figuras sugerem que os esforços de mitigação propostos pelo Brasil trariam desacelerações do PIB similares às que seriam observadas na União Europeia (região EUR) e na América Latina (LAM), no caso de implementação do cenário COP até 2030, e na implementação de uma política de cap-and-trade de 2035 a 2050^{XVII}. Nota-se, contudo, que algumas regiões sofreriam impactos bem menores no PIB, como a China (CHN), ou até ganhos em PIB, como no caso da Índia (IND) até 2040, devido à baixa ambição desses países em reduzir emissões de GEE, conforme demonstrado no Acordo de Paris.

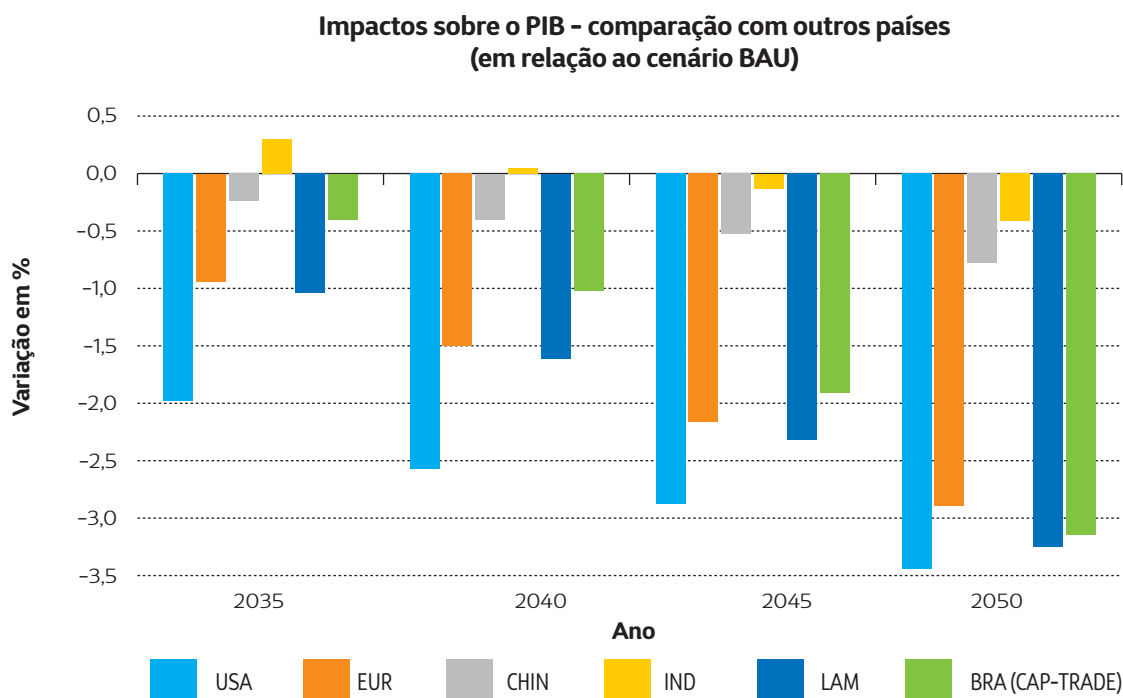
Figura 11. **Mudanças no PIB (%) nos cenários de políticas de mudança do clima em relação ao cenário BAU de 2020 a 2030 para países selecionados.**



Fonte: projeções do modelo

XVII Os resultados do cenário COP para o Brasil não são apresentados na Figura 12 para evitar distorções na escala do gráfico, uma vez que as perdas para o País nesse cenário chegam a 20% do PIB em 2050.

Figura 12. Mudanças no PIB (%) nos cenários de políticas de mudança do clima em relação ao cenário BAU de 2035 a 2050 para países selecionados.



Fonte: projeções do modelo

5.3. Impostos às emissões e preço dos créditos de carbono

Nos cenários de **cap-and-trade** (mercados de carbono) e de tributação das emissões, a determinação de níveis de cortes em emissões permite ao modelo gerar endogenamente o preço de carbono ou o nível de tributo (ou imposto) necessário para que a economia (no caso dos mercados de carbono) ou o setor específico (no caso de impostos) atinja a meta de redução em emissões. O preço dos créditos de carbono é consequência das forças de oferta e demanda por esses créditos pelos diferentes setores, no caso da política de **cap-and-trade**. Da mesma forma, nos cenários **Tax**, o nível do tributo cobrado é fruto do esforço do setor em produzir minimizando as emissões geradas, de maneira a respeitar os cortes em emissões estabelecidos, o que equivale ao processo de demandar créditos setoriais de carbono diante de uma oferta restrita destes.

O preço final do carbono, ou o tributo a ser pago, bem como o desempenho de cada setor diante da restrição em emissões, é consequência de vários processos combinados: i) as possibilidades de mitigação advindas das opções tecnológicas e

sistemas de produção disponíveis, considerando o custo-efetividade dessas opções e sistemas (incorporados no modelo com base nas curvas marginais de abatimento); ii) a importância relativa de cada setor como insumo para os demais setores da economia ou como bem para o consumo final, assim como a sua capacidade de substituir ou ser substituído por outros insumos ou bens; iii) a importância dos produtos e serviços provenientes dos demais setores e atividades como insumos no processo produtivo do setor em análise, considerando as possibilidades de substituição e a complementaridade entre tais insumos e como as políticas tornam tais insumos mais ou menos baratos para o setor em questão; iv) a competição entre os diferentes setores e atividades por fatores produtivos limitados, como capital, trabalho e terra, e insumos de produção, como energia e matérias-primas, assim como a competição com produtos similares importados.

Dessa forma, o tributo ou imposto ao carbono a ser pago por um determinado setor é o resultado dessas diversas forças, que impactam a demanda de permissões de carbono pelo setor, dada a oferta limitada de créditos setoriais de carbono.

Como exemplo, um determinado setor pode ter de arcar com elevados tributos ou impostos às emissões, se o produto ou serviço desse setor for essencial para o consumo das famílias e estas não tiverem opções para substituir tal produto ou serviço por outros, e, ao mesmo tempo, tal setor tiver poucas e caras opções tecnológicas para abater suas emissões. Por outro lado, um setor que possui produtos ou serviços facilmente substituíveis, ou mesmo supérfluos para seus consumidores, provavelmente terá de pagar baixos impostos às emissões mesmo que tenha poucas possibilidades de abatimento de emissões a baixo custo, uma vez que perderá competitividade na economia e será pouco demandado pelos consumidores.

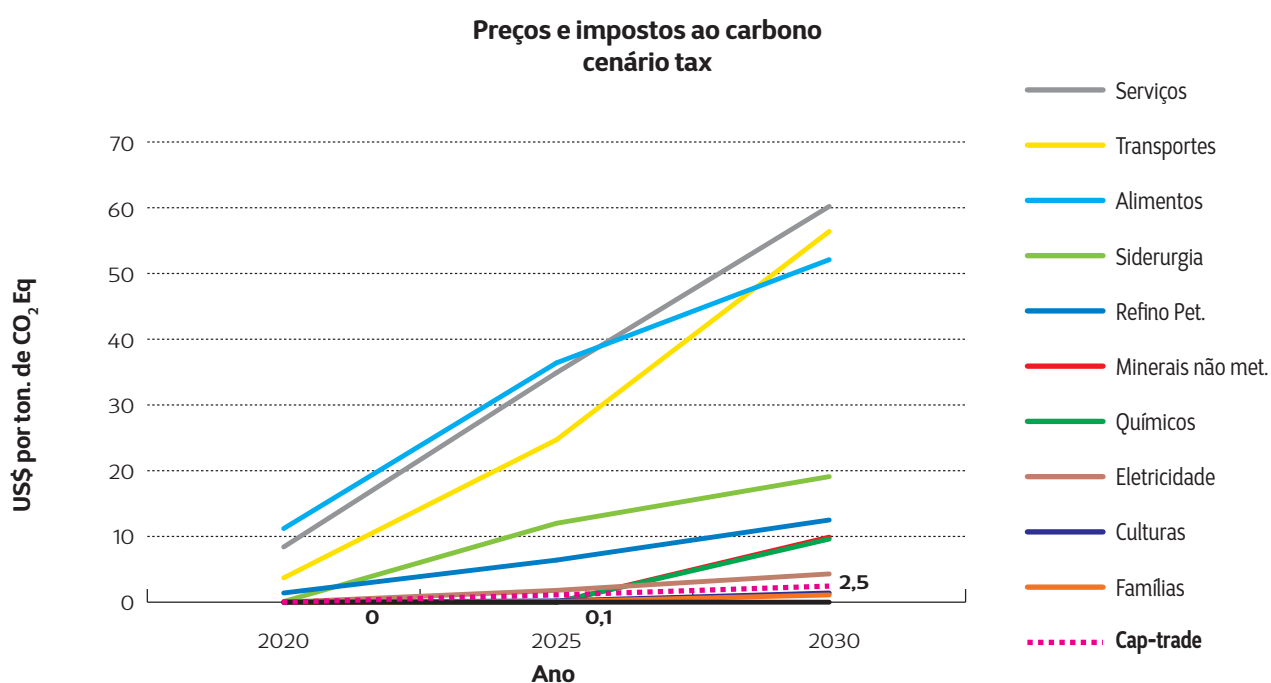
Os resultados do modelo quanto aos impostos a serem pagos por tonelada de emissão de Gases de Efeito Estufa pelos diferentes setores no cenário **Tax**, bem como o preço dos créditos de carbono no cenário **cap-and-trade**, para o período de 2020 a 2030, são apresentados na **Figura 13**. Uma primeira evidência dessa figura é a grande disparidade de valores de impostos setoriais ao carbono para garantir o mesmo nível porcentual de corte em emissões em todos eles. Um conjunto de três setores (Serviços, Indústria de Alimentos e Transportes) depara-se com impostos entre US\$ 50 e US\$ 60 em 2030, enquanto os demais setores precisam arcar com impostos inferiores a US\$ 10. Exceção apenas para o setor de Siderurgia, que enfrenta um imposto de US\$ 20 em 2030.

Essas diferenças refletem, como discutido anteriormente, tanto as diversas possibilidades de mitigação de cada setor, incluindo a capacidade de substituir energias fósseis por renováveis, quanto os variados graus de essencialidade destes como insumos para outros setores e consumidores e necessidades de utilização de insumos e serviços dos demais, o que afeta a necessidade de emitir maiores ou menores quantidades de GEE (demanda por permissões de emissão) diante da restrição de emissões (oferta restrita de permissões). A baixa capacidade de mitigar emissões e a essencialidade para o consumidor final explicam os maiores impostos a serem pagos pelos três setores mencionados.

Uma segunda observação de grande relevância a partir da **Figura 13** é sobre o preço dos créditos de carbono no caso da política de **cap-and-trade**. Esse preço é de apenas US\$ 2,5 em 2030 para garantir uma redução de 15% nas emissões agregadas de todos os setores, excluindo as emissões de mudanças no uso da terra, como já discutido quando da

apresentação da **Figura 5**. Isso evidencia o quão mais eficiente é a política de mercados de créditos de emissões em comparação com o estabelecimento de cortes setoriais via impostos de carbono, como os observados no cenário **Tax**.

Figura 13. Preço do carbono sob o cenário Cap-and-Trade e impostos às emissões de gases de efeito estufa no cenário Tax até 2030.

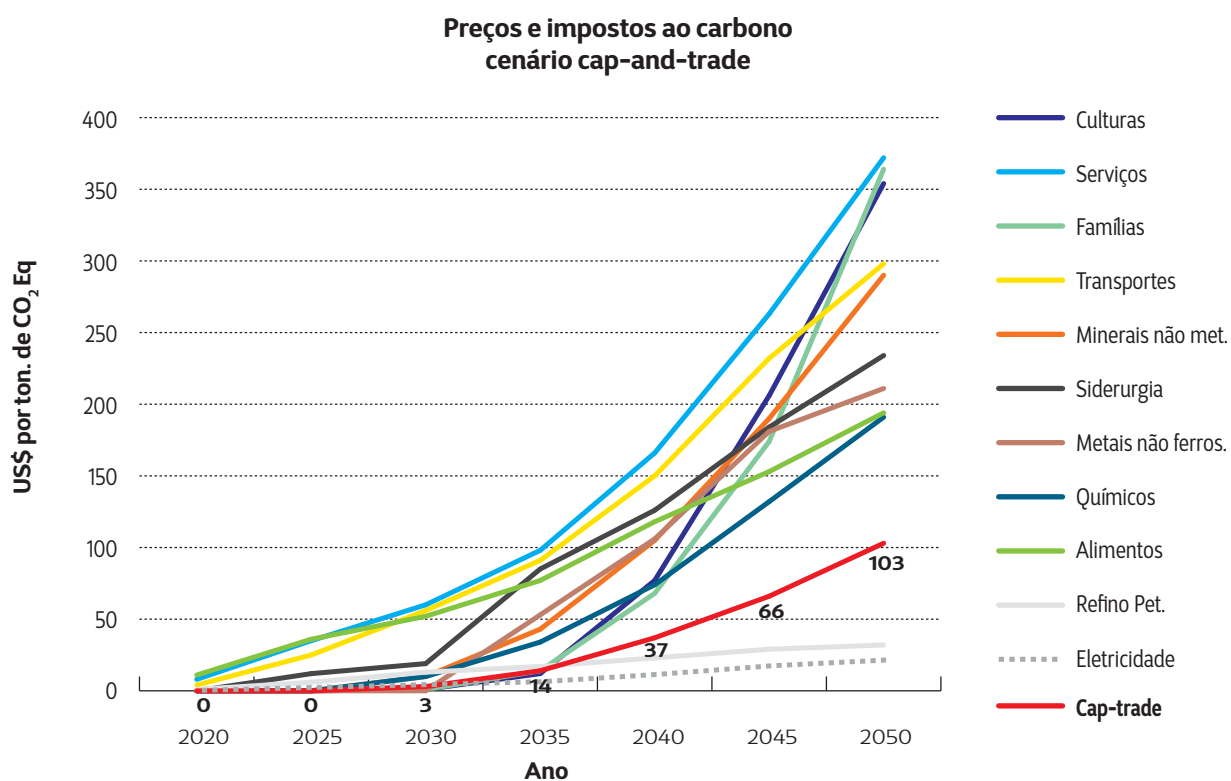


Fonte: projeções do modelo

A **Figura 14** apresenta os resultados de preços do carbono e impostos setoriais até 2050, reforçando o resultado da **Figura 13**. Os impostos ao carbono atingem valores superiores a US\$ 250 por Ton. CO₂ eq. em 2050 para a maioria dos setores, de modo a atingir cortes de 44% nas emissões, enquanto esse valor chega a apenas US\$ 103 no cenário **cap-and-trade**. A possibilidade do comércio de créditos de carbono permite um melhor aproveitamento dos potenciais de mitigação mais baratos em alguns setores, evitando assim que aqueles setores com menores opções de mitigação paguem elevados impostos às emissões e impactem com maior intensidade a atividade econômica agregada.

Outra lição importante apreendida dessas figuras é que, sob uma política de cortes em emissões setorialmente definidas, sem mecanismos de troca de permissões entre setores, corre-se o risco de uma busca contínua por isenções e tratamentos diferenciados pelos setores que sofrem com uma tributação de carbono mais elevada, o que traria maiores custos para aqueles setores não isentos, caso outros fossem excluídos da política, além da complicação na implementação da política e o risco de não se atingir a meta agregada dos cortes em emissões.

Figura 14. Preço do carbono sob o cenário Cap-and-Trade e impostos às emissões de gases de efeito estufa no cenário Tax até 2050.



Fonte: projeções do modelo

5.5. Situação do Mercado de Carbono nos demais países

De acordo com o World Bank (2015), os esforços de precificação de carbono estavam presentes ou já agendados para se iniciarem em cerca de 39 jurisdições nacionais e 23 cidades, estados e regiões no ano de 2015. Essas iniciativas cobriam cerca de 7 Gigatoneladas (Gt) de emissões de Gases de Efeito Estufa, mensuradas em CO₂ equivalente (CO₂e), que significam, aproximadamente, 12% das emissões globais. Isso representaria um crescimento de cerca de três vezes, numa década, em relação às emissões cobertas por sistemas de precificação de carbono.

Entre as iniciativas nacionais, 21 correspondem a sistemas de comércio de emissões (ETS, na sigla em inglês), 4 seriam de taxaço ao carbono e 14 sistemas mistos, com impostos e ETS. No nível subnacional, 22 iniciativas são de ETS, enquanto apenas uma é de taxaço do carbono.

O sistema de comércio de emissões europeu, o EU ETS, é o maior mecanismo de precificação de carbono existente até o momento, abrangendo cerca de 2 Gt CO₂e. Contudo, a China e os EUA possuem as maiores coberturas quando considerados países individuais, da ordem de 1 Gt CO₂e e 0,5 Gt CO₂e, respectivamente. Na China, essas emissões estão cobertas em sete iniciativas piloto de ETS. Outras experiências relevantes incluem um ETS iniciado na Coreia do Sul, programas de **cap-and-trade** na Califórnia (EUA), e em Quebec e Ontário (Canadá).

Países como França e México, por sua vez, implementam políticas de taxaço do carbono. O mesmo está em discussão para implementação no Chile. A precificação de carbono nos diferentes países e regiões, em implementação ou agendadas para seu início, deve somar um valor estimado de cerca de US\$ 50 bilhões em 2015, sendo 70% desse valor associado a ETS e 30% a impostos às emissões. Os preços pagos pela tonelada de carbono variam consideravelmente entre as diferentes iniciativas: os impostos ao carbono no México e na Polônia foram inferiores a US\$ 1 em 2015; custavam entre US\$ 1 e US\$ 10 nas diferentes províncias chinesas, nos ETSs europeu, japonês, neozelandês, coreano e suíço, bem como nos impostos ao carbono em Portugal, Islândia, Noruega e Letônia; atingiam valores entre US\$ 12 e US\$ 52 em taxações de carbono em países como França, Eslovênia, Irlanda, Dinamarca, Finlândia e Noruega; e chegaram ao máximo valor de US\$ 130 com imposto ao carbono na Suécia.

O estudo do World Bank destaca ainda que é crescente o uso da estratégia de precificação de carbono no ambiente interno de grandes empresas, como uma forma de administração e mitigação de riscos diante de possíveis regulações futuras de precificação de carbono. Ainda, auxilia a identificação de oportunidades de redução de custos e aumento de rentabilidade por meio de investimentos de baixa emissão de carbono.

Essa gama de iniciativas sugere que as estratégias de precificação de emissões estão ganhando importância no mundo, seja em países desenvolvidos, seja em economias em desenvolvimento.

CONCLUSÕES

Buscou-se neste Estudo quantificar os potenciais efeitos que a adoção de políticas públicas nacionais e internacionais, que vierem a ser adotadas em decorrência do Acordo de Paris, traria para a economia brasileira, especialmente para os principais setores produtivos.

Justifica-se tal esforço pela necessidade de informações e análises mais precisas e abrangentes que permitam embasamento para o adequado posicionamento da FIESP em relação a tais políticas e a defesa de alternativas que permitam uma transição para a economia de baixo carbono a menores custos econômicos e sociais, bem como mantenham a integridade ambiental e a competitividade da indústria.

Além disso, com o propósito de garantir um adequado planejamento de médio e longo prazo, em termos do atendimento às metas de redução de emissões e seus reflexos em relação ao PIB, para diferentes opções de cenários e medidas a serem implementadas, foram avaliadas não somente as propostas apresentadas até 2030, mas, especialmente, no horizonte de longo prazo, até 2050.

Dos resultados obtidos, podemos destacar que:

a) Em termos de redução de emissões

Verifica-se que as metas de 37% e 43% de reduções das emissões nos anos de 2025 e 2030, respectivamente, em relação às emissões de 2005, baseadas no controle do desmatamento, recuperação de áreas degradadas, repovoamento florestal e aumento da participação de fontes renováveis, não seriam integralmente alcançadas.

Essa constatação depreende-se em razão de o Inventário Nacional de Emissões ainda não contabilizar o potencial sequestro de carbono nos solos de pastagens e áreas agrícolas advindo das ações de recuperação de pastagens degradadas e de intensificação da lavoura-pecuária-floresta.



Caso essa limitação seja superada, **é possível atingir por completo as metas brasileiras assumidas em Paris**, sem a necessidade de maiores esforços pelos demais segmentos.

Contudo, os potenciais de mitigação de baixo custo advindos de mudanças no uso da terra esgotam-se em 2030, o que significa que futuros compromissos de redução de emissões pelo País vão implicar a adoção de uma estratégia mais abrangente, que inclua os demais setores econômicos.

Neste caso, os resultados estimados indicam a necessidade de cortes nas emissões desses setores de até 45%, considerando os cortes hipotéticos simulados no Estudo para o horizonte de 2050, o que significa uma ampla “descarbonização” da economia, por intermédio de mudanças tecnológicas nos processos produtivos industriais e agropecuários, na produção e uso de energia e nos padrões de consumo. Tal transformação, que exige relevante esforço, requer investimentos em pesquisa e desenvolvimento em todas as frentes de produção e gestão pública e privada, incluindo mecanismos regulatórios, incentivos e diretrizes.

b) Em termos de resultados econômicos

Os cenários de políticas de mudança do clima simulados indicam **impactos reduzidos sobre o PIB brasileiro, em relação ao PIB do cenário de referência, até 2030:**

- inferiores a 0,2% sob uma política de **cap-and-trade**;
- de 0,7% no caso da política acordada em Paris; e
- de 0,8% quando da imposição de cortes em emissões iguais para todos os setores, com a cobrança de tributos ou impostos às emissões.

Após 2030, os cenários adotados indicam que os impactos de **cap-and-trade** chegam a uma redução de 3% do PIB e mais que **o dobro desse valor – 6,5%**, no caso de impostos setoriais às emissões. Já uma política nos moldes do acordado em Paris, com incentivos cada vez mais elevados às fontes renováveis de energia, **geraria reduções de até 18% no PIB**, contudo, sem atingir o mesmo nível de cortes de emissões que os demais cenários.

Esses resultados confirmam **o esgotamento desse tipo de política até 2030, não apenas por conta da trajetória de alocação de recursos necessária para os incentivos às fontes renováveis, mas também pela ineficiência crescente de se estimularem setores além das suas capacidades técnicas e físicas.**

c) Em termos da competitividade nacional

Na comparação entre os países, os resultados obtidos demonstram que uma política de **cap-and-trade** traz custos similares aos que a Europa e a América Latina teriam se implementassem suas metas do Acordo de Paris, enquanto China e Índia sofrem menores custos por terem se comprometido com metas pouco ambiciosas, o que pode gerar **perda da competitividade do Brasil** por ter metas mais ambiciosas.

Dessa forma, torna-se necessário um esforço conjunto de diplomacia internacional, advogando pela maior contribuição desses países emergentes com o combate à mudança do clima.

d) Em termos de precificação do carbono

O Estudo demonstra que o preço do carbono a ser pago pelos diferentes setores brasileiros, na forma de tributos ou impostos, **seria de cerca de US\$ 10 até 2030**, com apenas quatro setores^{XVIII} com preços mais elevados, entre US\$ 20 e US\$ 50.

Entretanto, se for adotada uma política de mercado de carbono do tipo **cap-and-trade**, o preço do carbono seria de apenas **US\$ 2,5 até 2030**, revelando o quão mais custo-efetiva seria essa política em comparação com metas setoriais.

Ao se avaliar o horizonte de 2050, de acordo com as premissas adotadas, os preços do carbono chegariam a US\$ 103 numa economia de mercado do tipo **cap-and-trade**, enquanto os impostos ao carbono ultrapassariam US\$ 190 para a maioria dos setores, chegando a mais de US\$ 350.

Essa grande diferença entre os valores da tonelada de emissões é consequência da existência de diversas oportunidades de mitigação a baixos custos em alguns setores específicos da economia, que poderiam ser mais bem aproveitadas, caso os setores pudessem negociar seus créditos de carbono.

Os resultados, nesse aspecto específico, implicam a necessidade de se aprofundarem estudos sobre as modelagens possíveis relativas à precificação do carbono, em especial com relação aos melhores arranjos que contemplem a estruturação de um ambiente regulatório com segurança jurídica, transparência e dinamismo, particularmente após 2030.

XVIII Setores do modelo agrupados como Serviços, Transportes, Alimentos e Siderurgia.

Nesse sentido, julga-se ser oportuno o aprofundamento das discussões sobre a proposição de um sistema que permita maior flexibilização no estabelecimento de regras que contemplem a dinâmica do mercado, bem como a identificação de instrumentos e instituições necessários para a futura implementação de um mercado amplo de permissões de emissões do tipo **cap-and-trade** no Brasil.

Até lá, é preciso garantir o estímulo às fontes renováveis e reduções de emissões de mudanças no uso da terra por serem mais custo-efetivas, porém, torna-se evidente que serão imprescindíveis instrumentos mais abrangentes e eficientes para que o País continue sua trajetória na direção de uma economia de baixo carbono.

RISCOS E OPORTUNIDADES

A transição para uma economia global de baixo carbono é uma realidade e já está sendo implantada em muitos países, constituindo objeto de consideração no planejamento e estratégias de investimentos públicos e privados de vários segmentos, tanto do setor governamental quanto do financeiro e empresarial.

O presente Estudo explorou algumas políticas e ações alternativas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa, como os incentivos a tecnologias e processos que reduzem emissões e a precificação do carbono, por meio da tributação das emissões e do mercado de créditos de emissões. Cada uma dessas alternativas possui vantagens e desvantagens. Os incentivos a tecnologias e processos trazem o benefício de estimular o desenvolvimento e a adoção de tecnologias e práticas de baixa emissão, além de implementação relativamente simples. Contudo, costumam restringir o leque de setores e atividades envolvidos, além de imporem à sociedade o custo de arcar com tais incentivos. Dessa forma, não há como garantir que a escolha dos setores e atividades estimulados, nem o nível dos incentivos, seja a mais eficiente e efetiva diante de outras potenciais alternativas de redução em emissões. Em outras palavras, nada garante que tal ou qual escolha resulte no menor custo de redução de emissões para a sociedade, tampouco que o nível de redução de emissões seja aquele estabelecido como meta inicial. Os resultados do Estudo ilustram bem essas limitações, à medida que o cenário **COP** não foi capaz de gerar as reduções em emissões previstas pela NDCs, bem como não se mostrou o de menor custo para a economia.

A taxação setorial das emissões traz a vantagem de implementação e regulamentação relativamente fácil em relação aos mercados de permissões de emissão. Basta estabelecer o nível de imposto a ser pago por emissões em cada setor e monitorar o pagamento e as emissões. No entanto, para tal, é preciso estabelecer mecanismos de mensuração das emissões, de modo a cobrar pelo pagamento por tonelada de gases emitida. Mas a principal limitação diz respeito às distorções econômicas e custos mais elevados que essa estratégia impõe à economia, uma vez que impostos setoriais não permitem que se aproveitem as oportunidades mais baratas de mitigação existentes na economia. Uma consequência indesejada que advém de tal limitação é o incentivo para que os setores e empresas sujeitos a maiores custos por conta da tributação às emissões empreendam esforços junto à autoridade reguladora para se tornarem isentos da política, o que aumentaria a carga de esforço (na forma de tributo) a ser arcada pelos demais setores incluídos na política, de maneira a garantir que a meta quantitativa agregada de redução em emissões seja atingida.

Já os mercados de permissões de emissões do tipo **cap-and-trade** possuem a vantagem de permitir o menor custo por tonelada de emissões reduzida, uma vez que as tecnologias e práticas de reduções de emissões mais baratas são estimuladas e o comércio de permissões proporciona que setores e empresas com elevados custos de abatimento comprem créditos daqueles com custos mais baratos. Ainda, garante que a meta estabelecida de corte em emissões seja alcançada, deixando que o mercado de créditos de emissões estabeleça o preço da tonelada de emissão, internalizando completamente o problema da externalidade ambiental das emissões. É importante ter em mente que esse sistema seria equivalente à definição de uma taxa ou imposto às emissões cobrado sobre todas as fontes de emissões de Gases de Efeito Estufa. Contudo, não há como garantir que o nível da taxa escolhido, em reais (R\$) por tonelada de carbono, a ser pago por todos os setores, permitirá atingir a meta de redução em emissões, conforme preestabelecido. Ademais, como as receitas tributárias de tal taxa são arrecadadas pelo governo, não há como garantir que o uso dessas receitas será o mais eficiente, problema que não acontece nos mercados de permissões de emissões. A limitação dos sistemas de mercados de permissões está nas suas regulamentação e regulação, uma vez que exigem a mensuração e monitoramento de todas as fontes e remoções de emissões. Portanto, esse sistema requer um esforço considerável de formatação, implantação e monitoramento.

É preciso ter em mente, ainda, que é possível desenvolver sistemas híbridos, que contemplem a combinação de políticas de comando e controle, de incentivos a tecnologias e processos que reduzam emissões, de tributação ou taxa ou de mercados do tipo cap-and-trade, de sorte a buscar uma conciliação entre custo-efetividade da política e praticidade ou viabilidade da implantação. A combinação ideal de mecanismos, contudo, requer investigações mais amplas e profundas a respeito dos diferentes arranjos possíveis, bem como devem envolver medidas ou mensurações dos custos de implantação e implementação do aparato regulatório necessário para viabilizar tais políticas. Assim, há bastante espaço para o desenvolvimento de estudos futuros que considerem a combinação de diferentes políticas e medidas de redução de emissões.

Outro aspecto de relevância na discussão de riscos e oportunidades é considerar que a transição para uma economia de baixa emissão de carbono pode ser realizada aos poucos, inicialmente com a implementação de políticas e medidas de redução mais simples e com foco nas oportunidades de mitigação relativamente mais baratas, mas resguardando-se a meta de sofisticar tais políticas, com vistas a, no longo prazo, cobrir todas as fontes emissoras e sequestradoras de Gases de Efeito Estufa da forma mais custo-efetiva possível, evitando-se distorções econômicas causadas por medidas parciais ou setoriais. Nesse sentido, as INDCs brasileiras apresentadas em Paris seriam o passo inicial nesse processo, sendo necessário, agora, já pensar e discutir sobre uma maior sofisticação e abrangência dos próximos compromissos e ações que visem à redução de emissões pós-2030, ainda mais diante do esgotamento das possibilidades de mitigação por meio do setor de mudanças no uso da terra ao longo do tempo. Nessa direção, mecanismos tributários que incidam sobre fontes emissoras, como, por exemplo, tributos ao uso de combustíveis fósseis ou sobre bens e processos de menor eficiência energética, podem ser um próximo passo na evolução rumo a medidas mais amplas e eficientes de redução em emissões, ao mesmo tempo que são de baixa complexidade de implementação e buscam diminuir ou compensar a geração das externalidades negativas associadas às emissões. Contudo, devem ser consideradas medidas intermediárias na transição para uma economia de baixa emissão de carbono, uma vez que possuem cobertura limitada sobre as fontes de emissões de Gases de Efeito Estufa, bem como podem não implicar o mesmo custo por tonelada de emissões para todas as fontes cobertas, o que, ao longo do tempo, desestimula a inovação e adoção de processos mais eficientes dentro de um mesmo setor ou indústria.

Por outro lado, é preciso considerar que a receita tributária advinda de impostos parciais deveria ser direcionada ao estímulo à inovação de processos e tecnologias de menores emissões, o que pode não ocorrer em um ambiente de elevada restrição orçamentária do setor público.

Existem numerosas iniciativas de avaliação de como seria a transição para uma economia de baixo carbono, cabendo destaque, dentre outras, para :

- **“State and Trends of Carbon Pricing”**, estudo do Banco Mundial, elaborado em 2015 ;
- **Estudos sobre Mercado de Carbono no Brasil** – Análise Legal de Possíveis Modelos Regulatórios, elaborado, em 2015, pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), em parceria com a Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros (BM&FBOVESPA), para o desenvolvimento do mercado de carbono no Brasil ^{XX};
- **Projeto IES-Brasil**, elaborado pelo Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, em 2015^{XX} ;
- **Economia de Baixo Carbono: Impactos de Novos Marcos Regulatórios e Tecnologias sobre a Economia Brasileira**, elaborado pelo Núcleo de Estudos de Baixo Carbono, em 2015;
- **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil** – elaborado pelo Banco Mundial, em 2010^{XXI} ;
- **Economia da Mudança do Clima no Brasil** – coordenado pelo Banco Mundial e executado por diversas instituições brasileiras, em 2010;
- **Caminhos para Uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil** – elaborado pela McKinsey & Company, em 2009;
- Artigos científicos diversos publicados na literatura nacional e internacional sobre o tema, como, por exemplo: Tourinho *et al.* (2003), Ferreira Filho e Rocha (2007), Feijó e Porto Jr. (2009), Silva e Gurgel (2012), Magalhães (2013), Gurgel e Paltsev (2014), Lucena *et al.* (2015) e Rochedo (2016), entre outros.

Embora a FIESP esteja acompanhando os diferentes estudos internacionais, nacionais e setoriais existentes, em nenhum momento pretendeu elaborar uma análise detalhada destes, em especial das modelagens para estimar uma precificação de carbono. Mas, ao contrário de algumas modelagens, e talvez seja este o **seu mais importante diferencial**, optou-se por

XIX Disponível em: https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7007/Estudos_sobre_Mercado_de_Carbono_no_Brasil_Analise_Legal_Poss%C3%ADveis_Modelos_Regulatorios.pdf?sequence=1

XX Disponível em: <http://www.forumclima.org.br/pt/ies-brasil/sobre>

XXI Disponível em: http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1276778791019/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf

uma abordagem que considerasse o **comportamento da economia de maneira agregada e globalizada, contemplando todos os segmentos da sociedade em todos os países relacionados.**

Ressalta-se, que este Estudo objetiva ser complementar aos demais desenvolvidos até o momento por diferentes instituições, servindo de instrumento consistente para o aprofundamento das discussões sobre o conjunto da economia, sem nenhum julgamento de valor sobre os resultados e demais **iniciativas setoriais**, mas, ao contrário, buscando aportar subsídios importantes para **o aprimoramento destas.**

Entendemos que os resultados obtidos permitem ter **uma visão macroeconômica robusta para os cenários adotados** e seus reflexos para o PIB, além da possibilidade de comparar os resultados entre países e propiciar uma sólida reflexão sobre o comportamento **da competitividade e do necessário crescimento do Brasil.**

Ademais, julgamos ser oportuno e pertinente o desenvolvimento de estudos complementares das atuais cadeias tributárias, por setores econômicos, com o objetivo de identificar suas necessidades em termos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

A garantia da competitividade do setor industrial diante do mercado nacional e internacional, no âmbito do novo cenário que se impõe a partir da entrada em vigor do Acordo de Paris, depende da melhora dos atuais processos, com a respectiva redução de emissões de GEE, em especial quando for implantada uma política de precificação e mercado de carbono no cenário global.

Dessa forma, as conclusões resultantes, com considerável margem de segurança, balizam estratégias a serem adotadas não apenas na defesa dos interesses do setor produtivo, mas também **na contribuição para a formulação de políticas públicas** nacionais e de relações exteriores que contemplem ganhos de eficiência e eficácia para o conjunto da economia nos próximos anos.

Evidencia-se, por outro lado, que as medidas anunciadas pelo governo brasileiro, para o atendimento às metas nacionais, **necessitam de fortes incentivos e políticas setoriais** que requerem o comprometimento dos agentes públicos e privados para que se tornem efetivas, sob o risco de não se alcançarem os objetivos de redução pretendidos.

Destacam-se, ainda, os resultados **pós-2030**, quando se esgotarem as medidas de mitigação de baixo-custo, como um significativo alerta sobre a necessidade de adoção de instrumentos econômicos eficazes, para não comprometer a economia brasileira como um todo, prejudicando setores mais vulneráveis e essenciais para a sociedade.

Nesse sentido, o Estudo permite comparar duas das principais políticas relacionadas à precificação de carbono, uma simples taxa setorial da tonelada de carbono equivalente ou a adoção de um mecanismo mais flexível com um mercado do

tipo **cap-and-trade**, evidenciando os riscos que um caminho considerado mais simples no primeiro momento, qual seja, a taxaço setorial, poderia representar no médio e longo prazo.

Finalmente, o Estudo aponta dire es e indica que há enormes desafios, a curto e médio prazo, no tocante ao debate sobre como precificar o carbono e qual ou quais modelos de mercado venham a concretizar-se em políticas públicas que atendam aos anseios socioecon micos e levem, de forma consistente, rumo a uma economia de baixo carbono, contribuindo para manter o aumento da temperatura média do planeta dentro dos limites considerados seguros.

REFERÊNCIAS

BABIKER, M.; METCALF, G.; REILLY, J. Tax distortions and global climate policy. **Journal of Economic and Environmental Management**, Maryland Heights, v. 46, n. 2, p. 269-287, 2003.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **GAMS**: a user's guide. Washington: GAMS Development Corporation, 1998. 262 p.

COSSA, P. **Uncertainty analysis of the cost of climate policies**. 2004. Thesis (Master of Science) – Technology and Policy Program, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2004.

DIMARANAN, B.; MCDUGALL, R. **Global trade, assistance, and production**: the GTAP 5 Data Base. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2002.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano-Base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 291 p.

FEIJÓ, F. F., PORTO JÚNIOR, S. S. Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil: Uma análise utilizando equilíbrio geral computável. *Análise Econômica*, v. 27, n. 51, p. 127-154, 2009.

FERREIRA FILHO, J. B. S., ROCHA, M. T. Avaliação econômica de políticas públicas visando a redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 45., 2007, Londrina. Anais ... Londrina: SOBER, 2007.

GOUVELLO, C. Brazil Low-Carbon Country Case Study. The World Bank Group, 2010. Disponível em: < http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf>. Acesso em: 3 out. 2012.

GURGEL, A. C.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. Potential land use implications of a global biofuels industry. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, Berkeley, v. 5, n. esp, 2007.

GURGEL, A. C., PALTSEV, S. Costs of reducing GHG emissions in Brazil. *Climate Policy*, v. 14, n. 2, p. 209 – 223, 2014.

HENRIQUES JR., M. F. Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro. 2010. 309p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Tese de doutorado.

HURTT, G. C., FROLKING, S., FEARON, M. G., MOORE, B., SHEVLIKOVAS, E., MALYSHEV, S., PACALA, S. W., HOUGHTON, R. A. The underpinnings of land-use history: three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands. *Global Change Biology*, v. 12, p. 1208-1229, 2006.

HYMAN, R. C., REILLY, J. M., BABIKER, M. H., DE MASIN, A., JACOBY, H. D. Modeling non-CO₂ greenhouse gas abatement. *Environmental Modeling and Assessment*, v. 8, p. 175-186, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 01 junho 2009.

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**: 2004. Paris: OECD/IEA, 2004.

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**: 2012. Paris: OECD/IEA, 2012.

JACOBY, H. D.; BABIKER, M. H.; PALTSEV, S.; REILLY, J. M. Sharing the burden of GHG reductions. In: ALDY, J.; STAVINS, R. (Eds.). **Post-Kyoto International climate policy**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 753 -785.

KARPLUS, V. J.; PALTSEV, S.; BABIKER, M.; HEYWOOD, J.; REILLY, J. M. Applying engineering and fleet detail to represent passenger vehicle transport in a computable general equilibrium model. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2012. Report n. 216. Disponível em: <<http://globalchange.mit.edu/research/publications/2270>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

LAHIRI, S.; BABIKER, M.; ECKAUS, R. S. **The effects of changing consumption patterns on the costs of emission restrictions**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2000. Report n. 64. Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/pubs/abstract.php?publication_id=636>. Acesso em: 27 maio 2006.

LIMA, E. M. C., GURGEL, A. C. Impactos econômicos de políticas climáticas em países desenvolvidos sobre a economia brasileira. *Economia*, v. 13, n. 3b, p. 785 – 813, 2012.

LUCENA, A. F. P., CLARKE, L., SCHAEFFER, R., SZKLO, A., ROCHEDO, P. R. R., DAENZER, K., GURGEL, A., KITOUS, A., KOBER, T. Climate Policy Scenarios in Brazil: A Multi-Model Comparison for Energy. *Energy Economics*, 2015. MAGALHÃES, A.S. Economia de Baixo Carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. Tese de Doutorado, CEDEPLAR/UFMG, 2013

MANNE, A. S.; RICHELIS, R. G. **The role of non-CO₂ greenhouse gases and carbon sinks in meeting climate objectives**. Stanford University, 2004. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/MERGE/EMF21.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2007.

MCKINSEY & COMPANY. Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil. São Paulo: McKinsey & Company, 2009. 140 p.

MELILLO, J. M.; REILLY, J. M.; KICKLIGHTER, D. W.; GURGEL, A. C.; CRONIN, T. W.; PALTSEV, S.; FELZER, B. S.; WANG, X.; SOKOLOV, A. P.; SCHLOSSER, C. A. Indirect emissions from biofuels: how Important? **Science**, Washington, v. 326, p.1397-1399, 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: informações gerais e valores preliminares. 2009. Disponível em: <http://oc.org.br/cms/arquivos/inventa%2%a1rio_emissa%2%b5es_gee-valores_preliminares-25-11-2009.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 2ª edição. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014. 168 p.

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

OLIVIER, J. G. J.; BERDOWSKI, J. J. M. Global emission sources and sinks. In: BERDOWSKI, J.; GUICHERIT, R.; HEIJ, B. J. (Ed.). **The climate system**. Lisse: Swets and Zeitlinger Publishers, 2001. p. 33-78.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; ECKAUS, R.S.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M.; ASADOORIAN, M.; BABIKER, M. **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model**: version 4. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2005. Report n. 125. Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/pubs/abstract.php?publication_id=697>. Acesso em: 18 fev. 2006.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; GURGEL, A.C.; METCALF, G. E.; SOKOLOV, A.P.; HOLAK, J. F. Assessment of US cap-and-trade proposals. **Climate Policy**, London, v. 8, p. 395-420, 2008.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; MORRIS, J. F. **The cost of climate policy in the United States**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2009. Report n. 173. Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/pubs/abstract.php?publication_id=1965>. Acesso em: 26 jan. 2010.

RATHMANN, R. Impactos da adoção de metas de redução de emissões de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil. 2012. 394p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Tese de doutorado.

REILLY, J.; FUGLIE, K. Future yield growth in field crops: what evidence exists? **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, p. 275-290, 1998.

REILLY, J.; PALTSEV, S. European greenhouse gas emissions trading: a system in transition. In: MIGUEL, C.; LABANDEIRA, X.; MANZANO, B. (Ed.). **Economic modelling of climate change and energy policies**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2006. p. 45-64.

ROCHEDO, P. R. R. Development of a global integrated energy model to evaluate the Brazilian role in climate change mitigation scenarios. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, 2016.

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

SADOULET, E. ; DE JANVRY, A. **Quantitative development policy analysis**. Baltimore: The Johns Hopkins University, 1995. 397 p.

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. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Texto para Discussão 1781, outubro de 2012. 64 p.

SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. **Applying general equilibrium**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 299 p.

SILVA, J. G., GURGEL, A. C. Impactos econômicos de políticas de cenários de políticas climáticas para o Brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 42, n. 1, p. 93 - 135, 2012.

TOURINHO, O. A. F., SEROA DA MOTTA, R., ALVES, Y. L. B. Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. Texto para discussão n. 976. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2006.

US CCSP. United States Climate Change Science Program. Synthesis and assessment product 2.1, part A: scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations. In: CLARKE, L. et al. **U.S. climate change science program**. Washington: Department of Energy, 2007.

WEBSTER, M. D.; BABIKER, M.; MAYER, M.; REILLY, J. M.; HARNISCH, J.; HYMAN, R.; SAROFIM, M. C.; WANG, C. Uncertainty in emissions projections for climate models. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 36, p. 3659-3670, 2002.

WORLD BANK. State and trends of carbon pricing, 2015. Washington DC, World Bank Group and Ecofys, September 2015. Disponível em: <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/State-and-Trend-Report-2015.pdf>

APÊNDICE I

Posicionamento da FIESP sobre as INDCs Brasileiras

POSICIONAMENTO FIESP

Em especial, para a COP21, a FIESP encaminhou sua visão como contribuição para embasar a posição oficial do governo brasileiro, contemplando as seguintes observações:

Contribuições nacionalmente determinadas (iNDCs) que o Brasil pretende adotar

- Contribuições nacionalmente determinadas (iNDCs) que o Brasil pretende adotar

As iNDCs brasileiras devem refletir um determinado volume de redução de emissões para o conjunto da nossa economia (*economy wide*), levando em conta a capacidade nacional e pautada pelo princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas. Deve ser preservado um formato flexível de contribuição nos moldes da proposta de enfoque de diferenciação concêntrica, apresentada pelo Brasil em outubro de 2014 e durante a COP20.

A proposta brasileira de iNDCs deve contemplar ações de adaptação à mudança do clima, além de mitigação, e outras ações que preparem o País para enfrentar eventos meteorológicos extremos.

- Ações antecipadas de mitigação e o perfil da matriz energética brasileira

O reconhecimento de ações antecipadas de mitigação (*early actions*), realizadas no período entre 2010 e 2020, bem como a grande participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, deve pautar a atuação do Brasil na negociação do novo acordo.

As ações oriundas do combate ao desmatamento até 2014 resultaram em redução de emissões de mais de 650 milhões de toneladas de CO₂ eq. Esse ativo florestal deve ser contabilizado como contribuição do Brasil à redução das emissões globais, da mesma forma que as ações de restauração e reflorestamento decorrentes do Novo Código Florestal que promovam o incremento de estoques de carbono.

- Mecanismos de mercado de carbono no novo acordo

É imprescindível que o acordo estabeleça mecanismos de flexibilização de mercado como forma de promover a redução de emissões custo-efetivas, independentemente do seu formato.

Adicionalmente, é relevante que as INDCs brasileiras explicitem que o País poderá recorrer a mecanismos de mercado para incentivar e promover reduções de emissões e sumidouros de carbono.

- Transferência de Tecnologia e Financiamento

O novo acordo deverá conter mecanismos, em especial de financiamento, que promovam a transferência e o desenvolvimento de novas tecnologias entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, para fomentar a redução de emissões. No contexto do novo acordo, devem ser reforçados os programas de cooperação Sul-Sul.

Os aportes de recursos financeiros internacionais oriundos do *Green Climate Fund* (ou de outras fontes) e novas tecnologias são essenciais para que países em desenvolvimento possam se adaptar às mudanças do clima e enfrentar eventos meteorológicos extremos.

- Ações unilaterais, bilaterais e barreiras ao comércio

Ações unilaterais de mitigação, adaptação, tecnologia, capacitação e financiamento não devem resultar em restrições arbitrárias e injustificadas ao comércio. O novo acordo deve ter cláusula expressa que coíba barreiras ao comércio decorrentes de eventuais medidas adotadas com vistas à sua implementação.

APÊNDICE II

Descrição do Modelo EPPA

A pesquisa foi realizada a partir da adaptação e atualização de um modelo de projeção econômica de amplo alcance, da classe dos modelos de equilíbrio geral computável, capaz de representar e simular a dinâmica futura da economia mundial e das principais regiões e países emissores de Gases de Efeito Estufa, incluindo a economia brasileira. O modelo foi atualizado para refletir as taxas de crescimento dos países e regiões considerados, levando em conta as revisões recentes em expectativas sobre o crescimento da economia brasileira e mundial.

O modelo econômico utilizado no presente Estudo é conhecido como *Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model* (PALTSEV *et al.*, 2005). É um modelo dinâmico recursivo de equilíbrio geral computável desenvolvido para projetar cenários de emissões de Gases de Efeito Estufa e impactos de políticas climáticas. O modelo EPPA tem sido empregado em diversos estudos relacionados às mudanças climáticas e apresenta-se documentado em detalhes em Paltsev *et al.* (2005)^{XXII}. Utiliza-se a versão 5 do modelo, considerando algumas adaptações e atualizações em dados e parâmetros para cumprir os objetivos do Estudo.

A modelagem computável de equilíbrio geral (CGE) baseia-se na teoria econômica de equilíbrio geral como uma ferramenta operacional em análises de orientação empírica sobre questões relacionadas a economias de mercado, como alocação de recursos, fluxos comerciais, mudança tecnológica e distribuição de renda, entre outras. Shoven e Whalley (1998) e Sadoulet e De Janvry (1995) apresentam maiores discussões sobre as características e aplicações dessa classe de modelos.

A aplicação de modelos de equilíbrio geral é adequada no caso de políticas de controle de emissões de Gases de Efeito Estufa, uma vez que estas apresentam um alcance amplo em termos de dimensões geográficas (diversas regiões e países do globo) e econômicas (diversos setores e agentes da economia), com efeitos consideráveis esperados na alocação de recursos nas economias regionais, nacionais e global.

XXII Para o caso brasileiro, o modelo EPPA foi aplicado nos estudos de Silva e Gurgel (2012), Lima e Gurgel (2012), Gurgel e Paltsev (2014).

No presente Estudo opta-se pelo enfoque de custo-efetividade, em que objetivos de políticas de redução de gases são escolhidos e os custos para atingir tais objetivos são determinados pelos modelos, sem considerar, contudo, os possíveis benefícios ambientais traduzidos em valores econômicos. Essa escolha reconhece as dificuldades, incertezas e falta de consenso na mensuração monetária dos benefícios ambientais, sendo o enfoque estimulado pela UNFCCC, como discutido por Manne e Richels (1995).

As estimativas de custos das políticas de mitigação de mudanças climáticas devem ser consideradas com cautela e senso crítico quanto à capacidade de serem extrapoladas para os eventos reais da economia. 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.

O modelo EPPA é desenvolvido pelo MIT *Joint Program on the Science and Policy of Global Change*. Tal modelo vem sendo amplamente utilizado para o estudo de aspectos ligados à agricultura, energia e políticas climáticas^{XXIII}, sendo dinâmico recursivo, multirregional e multissetorial. Os dados econômicos que alimentam o modelo são formados principalmente por matrizes de contabilidade social e de insumo-produto que representam as estruturas das economias das regiões, provenientes do *Global Trade Analysis Project* – GTAP (HERTEL, 1997; DIMARANAN; MCDUGALL, 2002; NARAYANAN; WALMSLEY, 2008), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral. Dados sobre produção e uso de energia em unidades físicas são provenientes tanto da base de dados do GTAP quanto da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 1997, 2004, 2005). Já 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 obtidos de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Informações sobre outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico – SO₂; óxidos de nitrogênio – NO_x, carbono negro – BC, carbono orgânico – OC; amônia – NH₃; monóxido de carbono – CO, e compostos orgânicos voláteis não metano – VOC) foram obtidas junto ao banco de dados desenvolvido por Olivier e Berdowski (2001).

Informações adicionais são utilizadas para desagregar o transporte comercial do transporte de passageiros em automóvel próprio, o setor de geração de eletricidade para representar tecnologias correntes (como hidroelétrica, nuclear e fóssil) e fontes alternativas (como eólica, solar e biomassa) não usadas extensivamente, mas com potencial de oferta em larga escala no futuro, e de políticas nos mercados de energia. Para representar tais tecnologias, informações do tipo “bottom-up” sob parâmetros de engenharia são consideradas (PALTSEV *et al.*, 2005).

O modelo simula a evolução da economia mundial em intervalos de cinco anos entre 2000 e 2100. Funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de capital, trabalho, terra, energia e insumos intermediários para gerar os bens e serviços. A demanda é representada pela presença de um consumidor representativo em cada região que busca a maximização do seu bem-estar pela aquisição de bens e serviços. Na representação dos setores produtivos, a

XXIII Algumas aplicações do modelo incluem Babiker, Metcalf e Reilly (2003), Reilly e Paltsev (2006), US CCSP (2007), Gurgel, Reilly e Paltsev (2007), Jacoby *et al.* (2009), Paltsev *et al.* (2008, 2009), Melillo *et al.* (2009) e Karplus *et al.* (2012). Diversos outros estudos que usam o modelo EPPA foram citados na Seção 2.

tecnologia utilizada é representada pela possibilidade de substituir diferentes fatores produtivos e insumos intermediários no processo produtivo. Para o consumidor representativo, a substituição entre bens e serviços ilustra as preferências dos consumidores. Tais escolhas são determinadas pelos parâmetros de elasticidade de substituição nas funções de produção e de utilidade do consumidor.

A evolução do modelo no tempo é baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento de consumo, poupança e investimentos, além de pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, da energia e da terra. O crescimento na demanda por bens e serviços produzidos em cada setor, incluindo alimentos e combustíveis, ocorre à medida que a renda e o produto aumentam. Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem à medida que estes são utilizados, forçando o aumento no custo de extração e beneficiamento dos mesmos. Setores que usam recursos renováveis, como a terra, competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos pelos mesmos. Todos esses fenômenos, aliados às políticas simuladas, como impostos e subsídios ao uso de energia, controle nas emissões de poluentes e imposição de mandatos de percentuais mínimos de misturas de combustíveis, determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e 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 competitividade relativa do mesmo.

O modelo fornece estimativas e previsões sobre o crescimento do Produto Interno Bruto 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 de outros poluentes, e custos econômicos das políticas simuladas.

O modelo EPPA é construído como um problema de complementaridade 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.

1.2.1.1 Agregação do modelo EPPA

A base de dados do GTAP7 apresenta matrizes de insumo-produto para 113 países e regiões do mundo e 57 setores de suas economias, representando produção, consumo, fluxos bilaterais, medidas de proteção comercial e os mercados de energia em unidades físicas. A versão do modelo a ser utilizada no presente Estudo é a quinta versão do EPPA, calibrada para o ano-base de 2004, sendo resolvido de forma endógena para o ano de 2005 e após, a cada cinco anos. No EPPA, os dados do GTAP foram organizados em 16 países e regiões, bem como em diversos setores de produção, como apresentado na Tabela II.1. Foram também representados na construção do modelo novos setores que ofertam tecnologias energéticas, considerados potencialmente relevantes no futuro, mas que ainda possuem custos muito elevados no presente (tecnologias backstop). O EPPA também considera a desagregação do consumo das famílias em compras de serviços de transporte, uso de transporte próprio (automóveis particulares) e consumo de outros bens e serviços.

Algumas modificações e adaptações foram introduzidas na versão do modelo utilizada na presente pesquisa, de forma a atingir os objetivos propostos. A principal modificação diz respeito à desagregação dos setores intensivos em energia, originalmente agrupados em apenas um setor. Esses setores foram desagregados nos seguintes: químicos, borracha, plásticos e papel (CRP), siderurgia e metalurgia (STEEL), manufatura de metais não ferrosos como alumínio, zinco e cobre (ALUM) e manufatura de minerais não metálicos como o cimento e o vidro (CIME).

Tabela II.1 - Agregação de regiões, setores e fatores no modelo EPPA

REGIÕES		
Estados Unidos (USA)	Federação Russa (RUS)	Oriente Médio (MES)
Canadá (CAN)	Leste Europeu (ROE)	África (AFR)
México (MEX)	China (CHN)	América Latina (LAM)
Japão (JPN)	Índia (IND)	Resto da Ásia (REA)
União Europeia (EUR)	Brasil (BRA)	
Austrália e N. Zelândia (ANZ)	Leste Asiático (ASI)	
SETORES		
Não Energia		
Agricultura - Culturas (CROP)	Siderurgia e metalurgia (STEEL)	
Agricultura - Pecuária (LIVE)	Metais não ferrosos (ALUM)	
Agricultura - Florestal (FORS)	Minerais não metálicos (CIME)	
Alimentos (FOOD)	Outras Indústrias (OTHR)	
Serviços (SERV)	Serviços de transporte (TRAN)	
Químicos, borracha, plásticos, papel (CRP)	Transporte próprio das famílias (FTRAN)	

Energia

Carvão (COAL)	Eletricidade: Nuclear (A-NUC)	Gás sintético (SGAS)
Petróleo bruto (OIL)	Eletricidade: Eólica (W-ELE)	Biocombustível (2ª geração) (BOIL)
Petróleo refinado (ROIL)	Eletricidade: Solar (S-ELE)	Petróleo de xisto (SOIL)
Gás natural (GAS)	Eletricidade: Biomassa (biELE)	Biocombustível (1ª geração)
Eletricidade: Fóssil (ELEC)	Eletricidade: NGCC ¹ (NGCC)	Gás sintético (SGAS)
Eletricidade: Hidráulica (H-ELE)	Eletricidade: NGCC – CCS ²	Biocombustível (2ª geração) (BOIL)
	Eletricidade: IGCC ³ – CCS	Petróleo de xisto (SOIL)
		Biocombustível (1ª geração)

FATORES

Capital	Gás natural	Terra:
Trabalho	Hidráulica	- de culturas
Petróleo cru	Nuclear	- pastagens
Petróleo xisto	Eólica & Solar	- florestal
Carvão		Florestas naturais
		Pastagens natur.

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

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

2 CCS: captura e seqüestro de carbono

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

2.1.2 Estrutura do modelo

O modelo EPPA encontra-se formulado como um Problema de Complementaridade Mista (*Mixed Complementarity Problem* – MCP), conforme descrito por Mathiesen (1985) e Rutherford (1995). O problema econômico de equilíbrio geral em MCP envolve três desigualdades que precisam ser satisfeitas: lucro zero, equilíbrio dos mercados (market clearing) e equilíbrio ou balanceamento da renda. Essas condições de desigualdades estão associadas a um conjunto de três variáveis não negativas, quais sejam: preços, quantidades e níveis de renda.

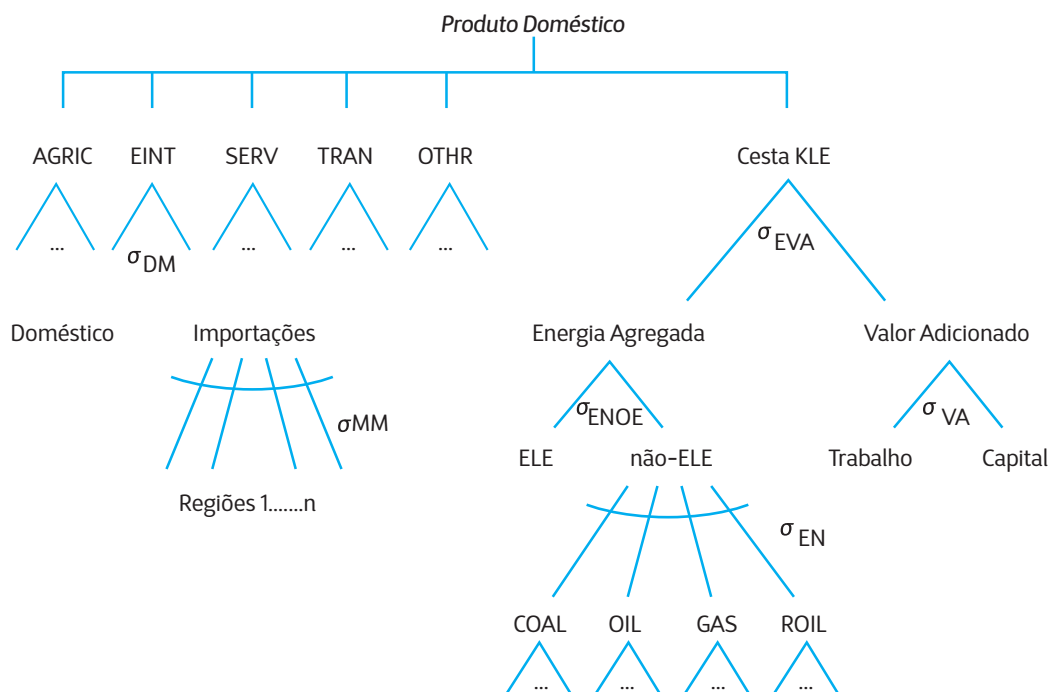
As funções de produção e consumo utilizadas pelo modelo EPPA são caracterizadas como funções de elasticidade de substituição constante (*constant elasticity of substitution* – CES), e como tal, todos os insumos são necessários. Isso significa que, para a maioria dos mercados, as condições de MCP são satisfeitas com preços, produto, renda e consumo dos bens estritamente maiores que zero e oferta igual à demanda.

O comportamento das firmas segue a formulação microeconômica de maximização do lucro. Em cada região e em cada setor, uma firma representativa escolhe o nível de produto, a quantidade de fatores primários e insumos intermediários de outros setores, para maximizar os lucros sujeitos à sua restrição tecnológica.

Quanto ao comportamento dos domicílios, um agente representativo em cada região possui dotações de fatores de produção, cujos serviços podem ser vendidos às firmas. Em cada período, o agente representativo escolhe os níveis de consumo e poupança que maximizam sua função de utilidade sujeita à restrição orçamentária para o nível de renda. Assim como a produção, as preferências também são representadas por funções CES. As tecnologias e preferências CES são estruturas aninhadas que permitem apresentar possibilidades de substituição de insumos e flexibilidade na escolha das elasticidades de substituição, em particular no que diz respeito aos combustíveis e à eletricidade, e aquelas elasticidades cujas emissões e custos de abatimento são especialmente sensíveis.

Uma estrutura das funções CES aninhadas comum entre os setores de serviços (SERV), transportes (TRAN), intensivos em energia (CRP, STEEL e EINT) e outras indústrias (OTHR) é apresentada na Figura II.1. Insumos intermediários são considerados complementares perfeitos (Leontief), juntamente com uma cesta de capital-trabalho-energia (KLE), que por sua vez consiste em uma agregação de valor adicionado e energia.

Figura II.1 - Estrutura aninhada dos setores de serviços, transporte, intensivos em energia e outras indústrias



Fonte: Paltsev et al. (2005).

As importações de um determinado bem com origem em diferentes regiões são primeiramente combinadas como bens Armington, ou seja, bens da mesma indústria provenientes de diferentes regiões são considerados substitutos imperfeitos e, posteriormente, o agregado de importados é combinado com a produção doméstica do mesmo bem, de forma a criar uma cesta de bens ofertados dentro da região.

Petróleo bruto é tratado como um produto homogêneo no comércio internacional, estando sujeito a tarifas, impostos às exportações e margens de transporte. Por ser um bem homogêneo, todos os países e regiões se deparam com um único preço no mercado mundial. Carvão, gás e petróleo refinado são considerados bens Armington, devido à diferenciação de produtos e qualidade.

Na representação das preferências, a poupança entra diretamente na função utilidade, o que gera uma demanda por poupança e faz com que a decisão consumo-investimento se torne endógena. A medida de bem-estar é mensurada em termos de variação equivalente Hicksiana^{XXIV} em cada período do modelo.

A elasticidade entre insumos não energéticos para o consumo varia ao longo do tempo e de acordo com a região, sendo

XXIV A variação equivalente Hicksiana mede a mudança na renda do consumidor necessária para que este atinja, após uma mudança em preços relativos, o nível de utilidade inicial.

uma função do crescimento da renda *per capita*. Da mesma forma a participação do consumo em cada período também é atualizada em função do crescimento da renda *per capita* entre períodos, conforme Lahiri, Babiker e Eckaus (2000).

Uma sofisticação importante do modelo EPPA diz respeito à representação de mudanças no uso da terra. O uso da terra está dividido em cinco categorias: pastagens, culturas, produção florestal (áreas de silvicultura, extração vegetal e florestas plantadas), florestas naturais e pastagens naturais. Cada categoria de terra é considerada um recurso renovável, que pode ser alterado pela sua conversão em outra categoria, ou abandonada em categoria não utilizada (vegetação secundária). A terra também está sujeita a melhorias exógenas de produtividade, de 1% ao ano para cada categoria, refletindo a tendência histórica de avanço na produtividade agropecuária, bem como o rendimento histórico das safras, o qual tem apresentado um crescimento entre 1% e 3% ao ano, de acordo com Reilly e Fuglie (1998).

Com relação à transformação do uso da terra, a área sob determinada categoria de uso pode ser ampliada pela conversão de outras categorias de uso. Por exemplo, estradas e acessos para áreas de florestas podem ser criados, permitindo que uma área desmatada seja transformada em área de florestas plantadas, pastagens ou culturas. O sentido oposto também pode ser observado, ou seja, áreas destinadas às culturas podem ser abandonadas, voltando a crescer florestas ou campos secundários.

O valor de uso da terra no modelo representa as transações monetárias reais como inferido pelas agências de estatísticas econômicas de cada país, portanto, esse valor deve ser consistente com os dados sobre receita, custos de insumos e retornos de outros fatores. A renda da terra, bem como da área no uso de culturas, pastagens e silvicultura, é obtida a partir da base de dados do GTAP (HERTEL, 1997; DIMARANAN; MCDOUGALL, 2002; NARAYANAN; WALMSLEY, 2008). Para obter o valor da renda por hectare, os dados acerca das rendas agregadas precisam ser divididos pela quantidade física de terra. Para as categorias florestas naturais e pastagens naturais, que não são utilizadas para produção econômica, infere-se um valor econômico a partir dos dados físicos de Hurtt *et al.* (2006) e do procedimento discutido em Gurgel *et al.* (2007).

2.1.3 Implementação de Políticas Climáticas no modelo

A incorporação de restrições quantitativas às emissões de Gases de Efeito Estufa no modelo é feita através da consideração de relação complementar entre o uso do combustível fóssil gerador de emissões e a quantidade física de permissões ou créditos de emissões associada ao uso do mesmo, como também pela relação entre emissões e processos produtivos da indústria e da agropecuária e nas mudanças no uso da terra.

A capacidade de mitigação de emissões no modelo é considerada pela incorporação do comportamento expresso em curvas de custo marginal de abatimento (*marginal abatement cost curves* – MAC) estimadas para o Brasil em diferentes estudos (MCKINSEY, 2009; HENRIQUES JR., 2010; GOUELLO, 2010; SEROA DA MOTTA *et al.*, 2012; RATHMANN, 2012). Tais curvas

expressam as diferentes opções tecnológicas existentes ou antecipadas por estudos de engenharia e por conhecimento de especialistas nos diferentes setores e atividades. Tais tecnologias podem ser representadas no modelo EPPA considerando-se os investimentos em capital e outros fatores produtivos necessários para reduzir determinado volume de emissões e os custos associados a esses investimentos. De acordo com Hyman *et al.* (2003), essas informações permitem calibrar elasticidades das árvores tecnológicas de produção dos diferentes setores de forma a simular o comportamento das curvas de custo marginal de abatimento compatíveis com os dados de custos das tecnologias de baixo carbono e seus potenciais de mitigação de emissões.

O modelo EPPA permite a incorporação de vários tipos de políticas de controle de emissões de GEE: impostos e subsídios à produção e ao consumo de combustíveis e a outros tipos de produtos; alíquotas de impostos fixadas com base no conteúdo de carbono dos combustíveis; definição de restrições quantitativas em emissões por região, por setor produtivo ou por tipo de Gás de Efeito Estufa; comércio internacional de créditos (ou permissões) de emissões; limites quantitativos ou impostos diferenciados por tipos de Gases de Efeito Estufa. Controles de preço resultantes da solução do modelo com restrições sobre esses gases são então reportados por toneladas de gás relevante e considerando o preço em carbono equivalente. Quando o comércio de gases é permitido, uma taxa de troca entre os gases deve ser especificada.^{xxv}

2.1.4 Disponibilidade de Tecnologias Alternativas

Um importante elemento que define a evolução dos modelos dinâmicos é a representação de tecnologias que não estão em uso atualmente (ou são usadas em pequena escala), mas que podem se tornar disponíveis num futuro próximo. Essas opções energéticas, como a solar e a eólica, devem começar a ser utilizadas em maior escala quando a oferta de recursos energéticos convencionais baseados em combustíveis fósseis tornar-se mais escassa e/ou mais cara, ou quando políticas públicas que visem reduzir as emissões de poluição penalizarem as tecnologias energéticas convencionais. O momento no tempo em que essas tecnologias tornar-se-ão disponíveis, também chamado de período de entrada, depende dos custos relativos dessas em relação aos custos das fontes convencionais de energia. A Tabela II.2 apresenta as opções de tecnologias avançadas representadas no modelo EPPA.

xxv O valor de troca, ou equivalente, entre os diferentes gases é definido com base no potencial de aquecimento global – GWP (Global Warming Potential) para o período de 100 anos.

Tabela II.2 - Tecnologias alternativas disponíveis no modelo EPPA

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
Gaseificação de carvão	Converte carvão em um substituto perfeito para o gás natural.
Petróleo de xisto	Extraí e melhora o betume do xisto transformando-o em um substituto perfeito para o petróleo.
Bicombustível de biomassa	Converte a biomassa em um substituto perfeito para petróleo refinado (segunda geração de biocombustíveis).
Eletricidade de biomassa	Converte biomassa em um substituto perfeito para eletricidade.
Eólica e solar	Converte a energia eólica e solar intermitente em um substituto imperfeito para eletricidade.
Gás avançado	Tecnologia de geração de eletricidade baseada no ciclo combinado do gás natural (CCGN) que converte gás natural em eletricidade.
Gás avançado com sequestro e captura de carbono	Tecnologia de ciclo combinado do gás natural que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
Carvão avançado com sequestro e captura de carbono	Ciclo combinado integrado de gaseificação do carvão (CCIG) que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
Veículos Híbridos e Elétricos	Tecnologia de transporte urbano de passageiros movido por sistemas de propulsão elétricos ou híbridos (eletricidade e combustíveis líquidos)

Fonte: Paltsev et al. (2005).

Três tecnologias produzem substitutos para os combustíveis fósseis convencionais, gás de carvão, produto de petróleo cru do xisto e combustível refinado da biomassa. Outras cinco opções tecnológicas incluem a geração de energia elétrica eólica e solar, a partir da biomassa, e de ciclo combinado de gás natural com e sem captura e sequestro de carbono. Ainda, veículos híbridos (movidos tanto a energia elétrica quanto a combustíveis líquidos) e veículos elétricos são tecnologias disponíveis para uso em larga escala no futuro.

2.2 Adaptações do Modelo às Especificidades Brasileiras

O modelo EPPA considera biocombustíveis de segunda geração como uma tecnologia *backstop*, com potencial de desenvolvimento futuro, enquanto os biocombustíveis atualmente produzidos e em uso não são considerados explicitamente na versão 5 do modelo. Diante do grande desenvolvimento na produção e uso dos biocombustíveis de primeira geração em diversos países na última década, essas tecnologias e suas especificidades foram acrescentadas no modelo EPPA, de acordo com o nível corrente de produção existente nos diferentes países. Foram utilizados dados das matrizes de insumo–produto do GTAP, de área cultivada da FAO, e dados regionais específicos para definir os custos de produção dos diferentes tipos de biocombustíveis. Foram incluídos os seguintes tipos de biomassa: culturas açucareiras (cana-de-açúcar e beterraba), grãos (milho), trigo e oleaginosas (canola, soja e palma).

O modelo utiliza dados do GTAP e da IEA sobre quantidades produzidas e consumidas de energia, bem como dados do EPA dos EUA e de Olivier e Berdowski (2001) sobre emissões de Gases de Efeito Estufa. Os dados de uso da terra são provenientes da base de dados do GTAP e dos estudos desenvolvidos por Hurtt *et al.* (2006). Esses dados são passíveis de comparação com aqueles produzidos por instituições brasileiras, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério de Minas e Energia e o Ministério da Ciência e Tecnologia. Dessa forma, foram coletados dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006), do Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, 2009 e 2014), e do Balanço Energético Nacional (Empresa de Pesquisa Energética, 2015) para ajustar os dados iniciais do modelo EPPA de forma a melhor refletir as estatísticas produzidas por instituições oficiais brasileiras. Tais ajustes permitem uma representação mais realista da base de dados inicial do modelo para o caso brasileiro.

O modelo EPPA agrega todos os setores mais intensivos no uso de energia sob um único setor, denominado EINT. De forma a ampliar o escopo da análise para considerar diferentes setores intensivos em energia, procurou-se desagregar o setor EINT do modelo em três novos setores, quais sejam: a) químicos, borracha, plásticos, celulose e papel (CRP); b) siderurgia e metalurgia (STEEL); c) outras indústrias intensivas em energia (OINT), que incluem a manufatura de outros produtos minerais não metálicos e a manufatura básica e processamento de minerais preciosos e metais não ferrosos e fundição de metais não ferrosos. Tal desagregação foi realizada a partir da base de dados do GTAP7 (NARAYANAN; WALMSLEY, 2008). Foram considerados dados de valor da produção, consumo intermediário, consumo final, consumo do governo, formação bruta de capital fixo, alíquotas de impostos, pagamentos aos fatores de produção, consumo de energia, exportações e importações, dos setores intensivos em energia desagregados nos três setores acima descritos.

climaemdebate.fiesp.com.br

MUDANÇA DO CLIMA

Atualização dos procedimentos para a elaboração de estudos sobre a mudança do clima em São Paulo

climaemdebate.fiesp.com.br

FIESP

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FIESP