

Projeto Decarboost

Viabilização de investimentos na transição para uma sociedade
de baixo carbono em países latino-americanos

Iniciativa Internacional do Clima – IKI

**Uma Estratégia de Descarbonização para
uma Economia Brasileira de Zero Carbono Líquido em 2050:
Instrumentos de Política e Planos Setoriais de Mitigação**

Parte I. Sumário Executivo

**Parte II. Proposta de Precificação de Carbono para o Brasil: Uma Condição Necessária
Para a Transição**

Centro Clima / COPPE / UFRJ

Rio de Janeiro, 28 de fevereiro de 2023.

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

On behalf of:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

Elaborado pela Equipe do Projeto Centro Clima / COPPE / UFRJ

Emilio Lèbre La Rovere – Diretor de Projeto

Carolina B. S. Dubeux – Coordenador setorial

William Wills – Finanças

Michele Cotta Walter, Carolina Dubeux & Giovanna Napolini – AFOLU

Marcio D'Agosto, Daniel Schmitz & George V. Goes – Transporte

Otto Hebeda, Bruna S. Guimarães & Luciana Contador – Indústria

Bruna S. Guimarães, Lisandra G. Mateus & Fernanda Westin – Energia

Isabela Mancio Lima, Saulo Machado Loureiro & Carolina Dubeux – Resíduos

Ruth Carola Cruzado Mittrany – Gerente de Projetos

Carmen Brandão Reis – Apoio

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DO ESTUDO	1
Parte I. SUMÁRIO EXECUTIVO.....	3
1. Introdução ao Contexto Brasileiro: Informações Básicas	4
1.1. Política Climática do Brasil e compromissos com a UNFCCC e o Acordo de Paris.....	4
1.2. Planos Setoriais Brasileiros de Mitigação.....	5
2. Construção de Cenários.....	6
2.1. Estória Qualitativa.....	6
2.2. Pressupostos Quantitativos.....	7
3. Metodologia de Modelagem.....	15
4. Ações de Mitigação, Metas e Marcos por Setor.....	19
5. Visão Geral das Barreiras, Instrumentos Políticos Seleccionados e Oportunidades de Investimento.....	32
5.1. Abordagem Metodológica.....	32
5.2. Critérios para a Seleção das Ações de Mitigação	34
5.2.1. Custos de Mitigação	34
5.2.2. Sinergias e Compromissos com os Objetivos Não Climáticos do País	36
6. Requisitos de Investimento e Facilitadores Financeiros.....	39
7. Referências.....	45
Parte II. PROPOSTA DE PRECIFICAÇÃO DE CARBONO NO BRASIL: UMA CONDIÇÃO NECESSÁRIA PARA A TRANSIÇÃO.....	1
1. Introdução	2
2. Premissas Básicas	2
3. Custo-Efetividade do Instrumentos de Precificação.....	3
4. Instrumentos de Precificação de Carbono	3
4.1. Mercado de Carbono	4
4.2. Taxa de Carbono	4
4.3. Mecanismo Híbrido.....	4
5. Elementos de Desenho	5
5.1. Setores Regulados.....	5
5.2. Período de Compromisso	5
5.3. Níveis de Preço	6
5.4. Mecanismos de Controle de Preço	6
5.5. Mecanismos para Proteger a Competitividade	6
5.6. Offsets	7
5.7. Penalidades	8
5.8. MRV.....	9

6. Uso das Receitas.....	9
7. Ajustes nos Instrumentos Setoriais	11
8. Arranjos Institucionais	12
8.1 Projeto de Lei 528/2021.....	12
8.2. Decreto 11.075/2022	13
9. Considerações Finais.....	14
10. Referências.....	16
Anexo I – Emissões Totais e Níveis de Precificação de Carbono no Brasil Requeridos para o Cumprimento do Acordo de Paris em 2030 e em 2050 (Iniciativa Clima e Desenvolvimento).....	17

FIGURAS – Parte I

Figura 1.	Diagrama de modelagem integrada para cenários do Brasil	18
Figura 2.	Emissões de GEE sob os cenários de políticas atuais (CPS) e de descarbonização profunda (DDS) (Mt CO ₂ e)	30
Figura 3.	Emissões de GEE, CO ₂ e não-CO ₂ , nos cenários (Mt CO ₂ e)	30
Figura 4.	Emissões de GEE x População x PIB (2010 =1)	31
Figura 5.	Intensidade de emissões per capita e por PIB	31
Figura 6.	Curva de custo de abatimento marginal 2021-2030 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO ₂ e).....	35
Figura 7.	Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO ₂ e).....	35
Figura 8.	Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO ₂ e).....	36

TABELAS – Parte I

Tabela 1.	Total de emissões brasileiras de GEE por setor, 2005-2050, nos cenários CPS (políticas atuais) e DDS (descarbonização profunda) (Mt CO ₂ e).....	20
Tabela 2.	Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por ações de mitigação, por década (Mt CO ₂ e)	21
Tabela 3.	Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por faixa de custo de ações de mitigação, por década (Mt CO ₂ e)	23
Tabela 4.	Principais resultados macroeconômicos dos cenários	24
Tabela 5.	Renda disponível das famílias por cenário e por classe de renda, 2015-2050	24
Tabela 6.	Sinergias com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)	36
Tabela 7.	Requisitos adicionais de investimento em mitigação no DDS no Brasil em comparação com o CPS, por setor econômico, por década	43

TABELAS – Parte II

Tabela 1.	Emissões totais de GEE nos cenários de referência e de mitigação adicional, por setor, entre 2005 e 2050 (Mt CO ₂ e).....	17
Tabela 2.	Níveis de precificação de carbono até 2050 requeridos no cenário de mitigação adicional para alcance da meta brasileira de neutralidade climática até 2050 (US\$/t CO ₂ e).....	17

APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

Este relatório apresenta a proposta de uma estratégia de descarbonização para o Brasil, preparada no âmbito do Projeto DecarBoost "Viabilização de investimentos na transição para uma sociedade de baixo carbono em países da América Latina", coordenado pela SouthSouthNorth (SSN) e apoiado pela Iniciativa Internacional do Clima (IKI) do Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da República Federal da Alemanha.

Elaborada pelo Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima/COPPE/UFRJ), essa estratégia de descarbonização para a economia brasileira está alinhada ao objetivo geral do Acordo de Paris: chegar a emissões de GEE líquidas zero em 2050. Engloba ações de mitigação adicionais às políticas atuais, juntamente com as principais barreiras identificadas e os instrumentos mais relevantes que removeriam esses obstáculos. Estas barreiras, propostas políticas e alguns exemplos de oportunidades de investimento estão detalhados em cinco Planos Setoriais de Mitigação: AFOLU, Transportes, Indústria, Energia e Resíduos. A proposta de um sistema de precificação do carbono também é destacada como um facilitador fundamental dessa transição, como uma ferramenta de política econômica transversal que fornece um sinal ao mercado de um quadro estável de longo prazo para a descarbonização.

O caminho da transição baseia-se em exercícios de cenário anteriores realizados pelo Centro Clima com o envolvimento dos principais stakeholders, apresentando uma forte sinergia com o projeto Decarboost: o projeto DDP BIICS coordenado pelo IDDRI (La Rovere et al., 2021) e o projeto Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030, desenvolvido em colaboração com o Instituto Talanoa (Unterstell, La Rovere, et al. 2021). Os projetos desenvolveram dois cenários de emissão, um considerando políticas de mitigação em andamento e outro considerando ações adicionais de mitigação que levem a emissões líquidas zero até 2050. Esses cenários foram desenhados, avaliados e validados com a ajuda de especialistas técnicos representativos e lideranças políticas para propor uma NDC brasileira mais ambiciosa até 2030, em linha com o Acordo de Paris. Juntamente com o Decarboost - que melhorou significativamente a avaliação das barreiras ao cenário de descarbonização profunda (DDS) e respectivos instrumentos - estes projetos permitiram a seleção de ações de mitigação que compõem a estratégia de descarbonização apresentada neste relatório.

A Estratégia de Descarbonização pretende construir pontes entre investidores e recursos e contribuir para a transformação do mercado. Essa transformação pode ocorrer ampliando o nível de implantação das tecnologias disponíveis, destacando barreiras e a necessidade de instrumentos específicos. Além disso, as oportunidades de investimento ilustrativas selecionadas serão úteis para os agentes econômicos interessados na execução de projetos de mitigação e/ou na compensação das emissões, bem como valiosas para as instituições financeiras.

O Brasil ainda não entregou uma LTS/LEDS - Estratégia de Longo Prazo/Estratégia de Desenvolvimento de Baixas Emissões à UNFCCC, conforme solicitado a todos os signatários do Acordo de Paris. O presente relatório pretende dar uma contribuição para o debate que sua preparação enseja.

O relatório completo do estudo está organizado da seguinte forma:

- a primeira parte é um Sumário Executivo de todo o estudo, incluindo: algumas informações básicas sobre o contexto brasileiro; o desenho dos cenários; a metodologia de modelagem; ações de mitigação, metas e marcos para os cinco principais setores emissores de GEE da economia brasileira: AFOLU, Transportes, Indústria, Energia e Resíduos; a visão geral das barreiras às ações de mitigação, os instrumentos para os superá-las e as oportunidades de investimento ilustrativas em cada setor; e os requisitos de investimento para o cenário de descarbonização profunda.
- em sequência, é apresentada a proposta detalhada de um facilitador fundamental para alcançar uma meta em toda a economia de emissões líquidas zero de GEE até 2050: uma política de precificação do carbono.
- por fim, são propostos cinco planos setoriais de mitigação: Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU), Transportes, Indústria, Oferta de Energia e Resíduos, detalhando as ações de mitigação, barreiras e instrumentos políticos para superá-los, e incluindo apêndices com propostas ilustrativas de instrumentos selecionados e oportunidades de investimento.

O presente documento inclui o sumário executivo do relatório completo (parte I) e a proposta detalhada de uma política de preços de carbono para o Brasil (Parte II).

Parte I. SUMÁRIO EXECUTIVO

1. Introdução ao Contexto Brasileiro: Informações Básicas

1.1. Política Climática do Brasil e compromissos com a UNFCCC e o Acordo de Paris

O foco brasileiro nas mudanças climáticas teve início em 2007, quando o governo criou um comitê por meio do decreto federal 6.263 para elaborar um Plano Nacional de Mudança do Clima (Brasil, 2008). Esse comitê elaborou um documento no ano seguinte identificando medidas e oportunidades para mitigar as emissões de gases de efeito estufa no Brasil e medidas de adaptação aos impactos das mudanças climáticas (Brasil, 2008).

Os objetivos específicos do Plano são "(i) melhorar a eficiência de todos os setores econômicos; (ii) manter as energias renováveis em níveis elevados na matriz energética; (iii) estimular a participação dos biocombustíveis no sector dos transportes; (iv) alcançar o desmatamento ilegal zero; (v) eliminar a perda líquida de cobertura florestal; (vi) fortalecer ações voltadas para a redução da vulnerabilidade da população; e (vii) identificar os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas e promover a pesquisa científica (Brasil, 2008).

O Brasil assumiu seu primeiro compromisso de redução das emissões de GEE em 2009, ao apresentar suas NAMAs (sigla em inglês para Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) como parte da Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC) (Lei 12187/09, Brasil, 2009). Este compromisso voluntário visava reduzir as emissões entre 36,1% e 38,9% em relação a um cenário *business as usual* projetado, até 2020. Além da meta de mitigação, a PNMC exigiu que nove planos setoriais de mitigação fossem elaborados pelas instituições públicas responsáveis.

Em setembro de 2015, o Brasil apresentou sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) à UNFCCC, confirmada como a primeira NDC em 2016. A nova meta voluntária era para toda a economia e visava reduzir as emissões de GEE em 37% em 2025, com uma meta indicativa de 43% em 2030, em comparação com os níveis de emissões de 2005. O valor do ano-base foi o do Segundo Inventário Nacional. Apresentou igualmente os meios de execução no seu anexo.

Em dezembro de 2020, o governo brasileiro apresentou sua "nova primeira NDC" à UNFCCC. Este documento atualizou o valor de 2005 para 2,8 Gt CO₂e, obtido no Terceiro Inventário Nacional, representando uma alteração substancial no valor utilizado na primeira versão do 2,1 Gt CO₂e. Portanto, o limite absoluto de emissões de GEE em toda a economia aumentou em 2025 (de 1,3 para 1,8 Gt CO₂e) e 2030 (de 1,2 para 1,6 Gt CO₂e). Por outro lado, foi incluída uma meta indicativa para a neutralidade climática até 2060 (Brasil, 2020). Em abril de 2021, o presidente brasileiro anunciou o compromisso do país em alcançar a neutralidade climática até 2050 na Cúpula de Líderes Climáticos organizada pelo presidente dos EUA. Em novembro de 2021, durante a COP 26, o governo brasileiro anunciou a intenção de apresentar uma NDC atualizada, com o objetivo de reduzir, até 2030, 50% das emissões de GEE em relação ao ano de 2005, com o objetivo final de atingir emissões líquidas zero até 2050. Os números absolutos por trás da meta não foram publicados, e o governo indicou que os dados do 4º Inventário Nacional de Emissões seriam utilizados. O Brasil também assinou o Acordo Florestal para acabar com o desmatamento ilegal até 2028 e o Compromisso Global de Metano de reduzir coletivamente as emissões de

metano em 30% até 2030 (a partir dos níveis de 2020). Em abril de 2022, o país apresentou uma versão final da primeira NDC com o objetivo de reduzir as emissões em 37% em 2025 e 50% em 2030, indicando o objetivo de longo prazo de alcançar a neutralidade climática em 2050. O ano de 2005 manteve-se como referência, com novos valores a serem apurados no mesmo inventário nacional disponível apresentado à UNFCCC utilizado para a avaliação dos resultados da NDC. Interinamente, considerando os valores de 2,6 Gt CO₂e de 2005 do Quarto Inventário Nacional, o relatório mais recente, as novas metas de emissão são de 1,6 Gt CO₂e em 2025 e 1. 3 Gt CO₂e em 2030.¹

Um marco regulatório crucial é o projeto de lei 258/2021, que propõe a criação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE). Nesse mercado, alguns setores da economia têm metas obrigatórias para a redução das emissões de gases de efeito estufa: os agentes que emitem além do limite permitido devem comprar créditos de agentes que emitem aquém do limite, gerando assim créditos. O MBRE estava previsto na lei que instituiu a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (Lei 12.187/2009). Em maio de 2022, o Governo Federal publicou o decreto 11.075/2022, que é um primeiro passo para a regulamentação de um mercado interno de créditos de carbono, embora menos restritivo que o Projeto de Lei 258. O decreto pode ser um ponto de partida para a implementação de uma política de precificação de carbono no Brasil, já que o Projeto de Lei 258 permanece parado no Congresso.

1.2. Planos Setoriais Brasileiros de Mitigação

O Decreto 7390/2010 foi um passo no sentido de detalhar as metas de mitigação voluntária estabelecidas pelo governo ao regulamentar a PNMC (lei 12187/09). Estabelece as metas de mitigação até 2020, seguindo as NAMAs brasileiras, e planos setoriais para apoiar sua realização, conforme abaixo:

- O Plano Decenal de Expansão de Energia;
- Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm;
- Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas nos Cerrados - PPCerrado;
- Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC;
- Plano de Redução de Emissões no Setor Siderúrgico;
- Plano de Transporte e Mobilidade Urbana para Mitigar as Mudanças Climáticas - PSTM;
- Plano de Mitigação das Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixo Carbono na Indústria de Transformação;
- Plano de Mineração de Baixo Carbono (Plano MBC); e
- Plano de Saúde para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas.

¹ A maior dificuldade no cálculo do inventário anual de emissões de GEE reside na estimativa das emissões de AFOLU. Em particular, no subsector Alteração do Uso do Solo. As emissões causadas pelo desmatamento são muito importantes e difíceis de estimar, introduzindo uma complexidade única no mundo para a elaboração do inventário brasileiro.

Para o período 2020-2030, há um novo Plano ABC, o Plano Setorial de Adaptação às Mudanças Climáticas e Baixas Emissões de Carbono na Agricultura 2020-2030 (ABC+). Possui um conjunto de medidas de mitigação e uma diretriz estratégica para fomentar a ciência e a inovação, visando auxiliar a tomada de decisão sobre ações que potencialmente reduzam as emissões de GEE.

O decreto 11.075/2022, acima mencionado, além de ser uma tentativa de regulação do mercado de carbono, também prevê a elaboração de planos setoriais de mitigação para implementar as ações necessárias para atingir a meta de neutralidade climática da NDC. Para isso, os planos setoriais a serem aprovados por um Comitê Interministerial sobre Mudanças Climáticas e Crescimento Verde, composto por ministérios setoriais e sob a liderança do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Economia, estabelecerão metas de redução gradual de emissões, mensuráveis e verificáveis, considerando as especificidades dos agentes setoriais.

2. Construção de Cenários

2.1. Estória Qualitativa

O exercício simula dois cenários de emissões de GEE no Brasil até 2050. Ele fornece uma estrutura para analisar indicadores setoriais e de toda a economia de um caminho de descarbonização alinhado com o objetivo geral do Acordo de Paris. O Cenário de Políticas Atuais (CPS, sigla em inglês) segue a tendência das ações de mitigação em andamento. Suas emissões são de 1,68 Gt CO₂e em 2030, sem aumento na ambição entre 2030 e 2050. O Cenário de Descarbonização Profunda (DDS, sigla em inglês) atinge 0,95 Gt CO₂e em 2030, indo além da meta da NDC e segue uma trajetória de emissões de GEE compatível com o objetivo global de 1,5°C, alcançando emissões líquidas zero em 2050.²

- **Principais facilitadores globais da descarbonização profunda da economia brasileira**

A implementação do DDS no Brasil pressupõe que o mundo está fortemente comprometido em cumprir a meta de 1,5°C do Acordo de Paris e pelo menos os países do G-20 também estão no caminho para a neutralidade de carbono até 2050 (ou 2060 para a China e um pouco mais tarde para a Índia). A oferta de financiamento internacional para investimento e inovação cresce ao longo do período, permitindo que a produtividade do trabalho nos países em desenvolvimento cresça mais rapidamente e promova educação, saúde e infraestrutura de boa qualidade. Existe um melhor acesso ao financiamento de baixo custo (em condições acessíveis) para permitir investimentos em infraestruturas de baixo carbono nos países em desenvolvimento, em consonância com a neutralidade de carbono global e fluxos de investimento robustos do Anexo I para os países não incluídos no Anexo I em mitigação e inovação. O progresso técnico continua em energias renováveis, mobilidade elétrica, eficiência energética, H₂, CCS e processos industriais altamente emissores (aço verde, cimento, etc.).

² Novos valores já ajustados pelo projeto Climate and Development Initiative (Unterstell, La Rovere et al., 2021). As alterações são insignificantes.

A cooperação internacional e os mecanismos de comércio apoiam a meta brasileira de desmatamento líquido zero. A adoção da precificação do carbono pela maioria dos países favorece produtos de baixo carbono no comércio e nas finanças. Os mercados voluntários de carbono ajudam o desenvolvimento de um mercado de carbono latino-americano. Há uma abertura de comércio para produtos de baixo carbono com mecanismos comerciais preferenciais que exigem rastreabilidade e comprovação de origem das exportações de produtos agrícolas e florestais que possam contribuir para o controle do desmatamento no Brasil.

Os esforços de pesquisa e desenvolvimento alcançam avanços em biocombustíveis de 2ª e 3ª geração, baterias elétricas e processos industriais verdes (aço, cimento, etc.), mas no Brasil, o DDS é baseado apenas na implantação de tecnologias já disponíveis.

- **Facilitadores domésticos**

O DDS fornece uma estratégia para a retomada do desenvolvimento econômico e social, com uma transição justa para a neutralidade climática do país em 2050. O cenário considera um aumento considerável da produtividade, uma política cambial ativa e o uso das receitas de exportação de petróleo para educação, saúde e importação de bens de capital.

Baseia-se também em duas políticas climáticas:

- Redução radical do desmatamento e aumento dos sumidouros de CO₂;
- Precificação do Carbono, aplicada às emissões de GEE provenientes do uso de combustíveis fósseis e processos industriais e uso de produtos (IPPU):
 - ✓ Mercado de licenças negociáveis de emissão provenientes da utilização de energia fóssil e de processos/produtos (IPPU) para o setor industrial; e imposto sobre o carbono sobre as emissões resultantes da utilização de combustíveis fósseis noutros setores da economia;
 - ✓ A precificação do carbono é neutra do ponto de vista fiscal, com a reciclagem de 100% de suas receitas voltando para a economia; é usada para reduzir os encargos trabalhistas, criar empregos e financiar transferências sociais para as famílias mais vulneráveis, protegendo seu poder de compra;
 - ✓ Adoção em todos os setores da economia de ações de mitigação compatíveis com o preço do carbono em cada período (medidas mais baratas entram primeiro), proporcionando marcos econômicos e setoriais de um caminho de emissões de GEE para a descarbonização até 2050.

2.2. Pressupostos Quantitativos

- ❖ **Economia**

O tamanho da população aumenta de 210 milhões em 2019 para cerca de 233 milhões em 2050. Nesse período, a parcela da população urbana cresce de 86% para 89%. Após a forte desaceleração da economia de 2015 a 2020 devido à crise político-econômica e à pandemia de COVID-19, a recuperação econômica brasileira começa em 2021: as taxas médias anuais de crescimento do PIB seriam de 2,26% de 2021 a 2030; 2,25% de 2031 a 2040;

e 2% de 2041 a 2050 (com crescimento linear assumido a cada década). Após o recuo de 2015-2020, a redução das desigualdades de renda é retomada novamente, mas mais lentamente do que no período 2000-2015. Prevê-se que o tamanho das famílias diminua lentamente, enquanto o rendimento disponível das famílias em % do PIB aumente. O comércio se torna mais importante para o Brasil durante o período do cenário, e os impostos de importação e o protecionismo são reduzidos, seguindo a tendência global. Uma política ativa deve ser implementada para manter uma taxa de câmbio estável em 5,15 R\$/USD (2020). O preço do carbono aumenta linearmente, atingindo 19,0 USD / t CO_{2e} em 2030 e 49,3 USD / t CO_{2e} em 2050.

❖ **Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU)**

A agricultura é um motor essencial do crescimento econômico brasileiro. A produção cresceu rapidamente nas últimas décadas, impulsionada pela crescente demanda global e avanços tecnológicos. Mudanças nas práticas de manejo da lavoura e expansão da área colhida permitiram que o Brasil se tornasse um dos principais exportadores de soja, carne bovina e celulose.

Tanto o CPS quanto o DDS assumem uma continuidade das tendências históricas nas preferências alimentares. As preocupações ambientais nos países desenvolvidos levam a um menor consumo de animais, dando preferência a alimentos ricos em micronutrientes e vitaminas, como frutas e vegetais. Por outro lado, os alimentos básicos (como os carboidratos) continuam a desempenhar um papel essencial nas preferências alimentares em países de baixa e média renda. O consumo global de carne per capita tende a aumentar devido à renda e ao crescimento populacional, especialmente nos países asiáticos e latino-americanos. Os níveis de consumo nas regiões desenvolvidas já são elevados. A demanda por carne aumenta à medida que se torna mais acessível nos países em desenvolvimento.

O setor AFOLU é a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. Portanto, ações de mitigação nesse setor são fundamentais para que o Brasil alcance a neutralidade climática em 2050.

No DDS, a produção agrícola aumenta significativamente, mas as emissões de GEE são mantidas quase as mesmas de 2020, em 2050. Há um crescimento expressivo da produção agrícola, enquanto a área agrícola aumenta moderadamente devido aos altos ganhos de produtividade. Em 2020-2030, a produção total aumenta 22% e entre 2030-2050, 47%. A área ocupada pelas culturas aumenta 5% até 2030 e 6% em 2030-2050, atingindo 75 Mha em 2050 (sem considerar a área de segunda safra). A produção de carne bovina cresce 67%, atingindo 18,3 milhões de TEC, em 2050, com um rebanho total de 200 milhões de cabeças. O tamanho do rebanho bovino diminui em 7% ao longo do tempo devido a ganhos de produtividade, e é criado em 105 Mha de pastagens (uma redução de 36%).

A intensificação da pecuária é a medida com maior potencial de mitigação. A recuperação adicional de 60 Mha de pastagens degradadas associada ao aumento da produtividade do rebanho bovino reduz as emissões da fermentação entérica em 6% em 2020-2050. Nesse cenário, a taxa de lotação passa de 1,31 cabeça/ha para 1,96 até 2050. A adoção de tecnologias agrícolas de baixo carbono como o sistema de plantio direto e a fixação biológica de nitrogênio, recomendadas pelo Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), aumenta junto com a soja e outras culturas.

A redução do desmatamento é fundamental para que o Brasil atinja a neutralidade climática. A área anual desmatada em 2020 no bioma Amazônia mais que dobrou em relação a 2012 e foi 44% maior do que em 2018 (INPE, 2022). Os esforços para conter o desmatamento são retomados em 2023, dada a possibilidade de mudança nas políticas governamentais e o aumento da pressão internacional sobre as cadeias agrícolas associadas ao desmatamento. As políticas de controle do desmatamento propiciam uma redução de 10% no desmatamento entre 2023-2025.

O desmatamento ilegal zero no bioma Amazônia é alcançado em 2050. As emissões do desmatamento totalizam 71 Mt CO₂e em 2050, correspondendo a uma redução de 93% em relação a 2020. As Áreas Protegidas (unidades de conservação e terras indígenas) removem 487 Mt CO₂e em 2050 (24% a mais do que em 2020), graças à adição de 53 Mha de florestas públicas não destinadas registradas no Serviço Florestal Brasileiro aos 276 Mha protegidas hoje.

Promover o reflorestamento e a restauração de 30 Mha com espécies nativas em áreas públicas e privadas também é relevante pois contribui para remover cerca de 417 Mt CO₂eq até 2050, e é uma medida alinhada com a Primeira NDC do Brasil (NDC submetida a UNFCCC em 2016/arquivada), com o Desafio de Bonn (Bonn Challenge, 2011) e com o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg, 2017). Esta medida de mitigação é um desafio e vai além da área considerada na meta da NDC 2016 (12 Mha até 2030). No entanto, isso pode ser possível com o apoio do governo, fundos internacionais, programas de pagamento por serviços ambientais e compensações florestais permitidas através do sistema de cap-and-trade imposto à Indústria.

Florestas plantadas de rápido crescimento (eucalipto e pinus) são importantes na remoção de carbono. Elas incluem florestas homogêneas e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. A superfície das florestas plantadas chega a 13 Mha em 2030 e 19,5 Mha em 2050. Esta área atende à demanda de todos os setores: energia (carvão vegetal e lenha), indústria (celulose e papel, madeira serrada, compensado, painéis e outros) e produção de pellets para exportação.

No DDS, as emissões líquidas do setor AFOLU atingem valores negativos (-537 Mt CO₂eq), permitindo que o país alcance a neutralidade de carbono em 2050.

No CPS, a produção agrícola cresce mais do que no DDS (24% em 2020-2030 e 50% entre 2030 e 2050), resultante da maior demanda por biocombustíveis no CPS devido a uma frota com mais veículos de combustão interna e menos veículos elétricos do que no DDS. A área de cultivo agrícola aumenta 4,5% até 2030 e 7% no período 2030-2050, atingindo 76 Mha (sem a área de cultivos de segunda safra). A produção de carne bovina cresce 69%, atingindo 18,5 milhões de TEC em 2050, com um rebanho 23% maior, atingindo 263 milhões de cabeças e uma área de pastagem de 171 Mha (aumento de 4%).

A recuperação de pastagens no CPS equivale à metade do DDS. 30 Mha são recuperados até 2050, atingindo uma taxa de lotação de 1,54 cabeça/ha em 2050. As emissões da fermentação entérica crescem 23% entre 2020 e 2050. A taxa de penetração de tecnologias de baixo carbono, como o sistema de plantio direto e a fixação biológica de nitrogênio, limita-se ao aumento da área plantada de soja. As emissões do setor agrícola aumentam 23% em 2050 em comparação com 2020.

Assim como no DDS, a área desmatada anualmente cresce até 2023 e diminui 10% entre 2023-2025. No entanto, a área anual desmatada simulada para 2025 (1,98 Mha) é mantida no período 2026-2050. O desmatamento desta área emite aproximadamente 1.024 Mt CO₂eq por ano. Considerando o desinteresse do governo anterior em ampliar as áreas de proteção ambiental, bem como alocar recursos humanos e financeiros para sua gestão, o CPS não prevê a criação ou expansão de áreas protegidas entre 2021-2050, mantendo-se o nível de 2020 constante até 2050 (279 Mha). Esta área remove 391 Mt CO₂eq em 2050.

Embora mais modestamente do que no DDS, o reflorestamento e a restauração de 3 Mha com espécies nativas em áreas públicas e privadas removem 55 Mt CO₂eq até 2050. É equivalente a 25% da área considerada na primeira NDC para 2030 (12 Mha) (NDC submetida à UNFCCC em 2016/arquivada). A área de florestas plantadas com espécies de pinus e eucalipto cresce 60% entre 2020-2050, totalizando 13,5 Mha.

No CPS, as emissões líquidas da AFOLU totalizam 1.073 Mt CO₂eq em 2050, um aumento de 13% em relação a 2020. Desse total, 60% vêm da agricultura e 40% da mudança do uso da terra e da silvicultura.

O setor agrícola brasileiro pode se tornar ainda mais competitivo globalmente se aumentar a produtividade de forma eficiente e sustentável. As pressões internacionais sobre o controle das cadeias agrícolas associadas à degradação e ao desmatamento contribuem para tornar o DDS viável. Os países que não se comprometerem a reduzir as emissões de GEE e controlar o desmatamento enfrentarão barreiras de mercado que dificultarão as exportações. As cadeias de soja, carne bovina e florestal são exemplos desse contexto que se aplica ao Brasil.

Programas de financiamento internacionais e nacionais com foco em mudanças climáticas, agricultura sustentável e meio ambiente ajudariam a tornar o caminho do DDS viável. Entre eles estão: Fundo Verde para o Clima, Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), Fundo para Países Menos Desenvolvidos (LDCF - GEF), Fundo Especial para Mudanças Climáticas (SCCF - GEF), Fundo de Adaptação (AF) e Fundo Amazônia.

O plano de mitigação de AFOLU fornece mais pormenores sobre estes elementos.

❖ **Transporte**

Os cenários de transportes incorporam diferentes visões do futuro da mobilidade de passageiros e cargas no Brasil. O CPS representa a continuação dos atuais incentivos para os biocombustíveis e a eficiência energética, mas sem aumento da ambição após 2030. O DDS expande e diversifica o mercado de biocombustíveis, exigindo outras medidas, como aceleração da eletrificação da frota de veículos e expansão da infraestrutura de transporte em áreas-chave.

Globalmente, o DDS exige uma redução contínua na relação entre o preço da bateria e a densidade de energia. Os veículos totalmente autônomos continuam sendo um nicho de mercado, restrito a economias desenvolvidas ou testes piloto em países emergentes. O Óleo Vegetal Hidrotratado (HVO) se torna uma importante fonte de energia nas refinarias de petróleo, aproveitando a cadeia de distribuição de combustíveis fósseis líquidos. Programas internacionais de financiamento focados em políticas e infraestrutura sustentáveis se tornam comuns entre os principais agentes financeiros.

Em ambos os cenários, a sociedade vivencia novas configurações de mobilidade ligadas ao envelhecimento populacional, teleatividades, novas tecnologias e mudanças estruturais. As cidades são planejadas para aumentar a integração e descentralizar as atividades para reduzir os tempos de deslocamento e o congestionamento. As principais áreas metropolitanas se concentram em modos de alta eficiência e transporte ativo, criando ambientes mais acessíveis aos pedestres. As teleatividades levam a mudanças no padrão de transporte de passageiros e cargas. Em áreas não metropolitanas, os sistemas de transporte mantêm o padrão histórico de crescimento e ordenação.

No DDS, os consumidores escolhem tecnologias mais eficientes e ecológicas, estimulando a penetração da eletromobilidade e dos biocombustíveis. O Brasil investe cada vez mais em infraestrutura de recarga e condições básicas para veículos elétricos, como normas e regulamentações, financiamento e novos modelos de negócio. Ao contrário do CPS, os novos fabricantes locais de caminhões elétricos, ônibus e componentes automotivos mudam o padrão da indústria, reduzindo o impacto da desvalorização da moeda local nas importações. A eletrificação da frota de ônibus e as medidas de priorização induzem a população a aumentar o uso do transporte público, reduzindo a necessidade de possuir um veículo particular. Os incentivos financeiros para desenvolver uma indústria nacional de bioenergia avançada expandem a oferta e a variedade de biocombustíveis, por exemplo, bioquerosene, bio-óleo e HVO.

Não haverá registro de automóveis com motores de combustão interna (MCI) a partir de 2045. Ao mesmo tempo, a penetração no mercado de veículos elétricos é ainda mais acelerada em comparação com o CPS. Em 2050, quase metade do estoque de automóveis será composto por híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e veículos elétricos a bateria (BEV). Assim, a frota circulante de automóveis atingirá 76 milhões, com uma taxa de motorização inferior à observada no CPS (326 contra 456 carros por 1.000 habitantes). A mobilidade privada (pkm/cap) representará uma participação de 41% nesse cenário. A eletricidade atingirá 11% do total de energia consumida no transporte de passageiros, enquanto os biocombustíveis líquidos representarão 52%. Como resultado, as emissões de GEE cairão 52%, atingindo 49 Mt CO₂e.

Ainda considerando o DDS, as ferrovias de carga a diesel são gradualmente modernizadas e eletrificadas por meio de aditivos contratuais em suas respectivas concessões. Os marcos regulatórios aumentam a produtividade nos transportes ferroviários e aquáticos. A logística sustentável e os programas de certificação aumentam a eficiência no transporte rodoviário. O redesenho das redes de transporte com foco em modos de alta capacidade equilibra razoavelmente a divisão modal do transporte de cargas brasileiro. Em 2050, o transporte rodoviário representará 42% da atividade de transporte (tkm) e o ferroviário e o aquaviário representarão 35% e 22%, respectivamente.

BEV, HEV e PHEV constituirão aproximadamente um terço do estoque de veículos de carga, concentrado nos transportes urbanos. Apesar dos avanços, a energia elétrica será responsável por apenas 3,4% da energia consumida no transporte de carga. Por sua vez, os biocombustíveis representarão 35%. Essas ações decorrem da priorização estratégica da eletrificação do transporte de passageiros, alocando o excedente de oferta de combustível líquido ao transporte de carga. As emissões de GEE cairão 32%, atingindo 62 Mt CO₂e.

No CPS, a indústria de biocombustíveis está restrita ao biodiesel e ao etanol hidratado. Os incentivos à eletromobilidade são limitados a experimentos em áreas metropolitanas. O fim das vendas de carros de combustão

interna deverá ocorrer apenas em 2050, quando o estoque total de carros atingir 106 milhões. A mobilidade privada representará uma participação de 50%, superior à do DDS. Essa participação decorre de uma menor proporção de transporte público e não motorizado, haja vista que menos investimentos são esperados. A eletricidade não é representativa neste cenário, chegando a apenas 4% do total de energia consumida no transporte de passageiros em 2050. No entanto, os biocombustíveis representarão 38% no mesmo ano. As emissões de GEE do transporte de passageiros aumentarão 25%, atingindo 126 Mt CO₂e.

As ferrovias de carga continuam a ter apenas locomotivas diesel-elétricas. As atividades de transporte ferroviário e aquático crescem a níveis inferiores ao seu potencial. Em 2050, o transporte rodoviário representará 48% da atividade de transporte (tkm). BEV, HEV e PHEV atingirão 20% da frota de veículos de carga. A eletricidade será menos intensa em relação ao DDS, representando apenas 0,2% da energia consumida no transporte de carga até 2050. Os biocombustíveis líquidos representarão 18%. As emissões do transporte de mercadorias aumentarão 18%, atingindo 112 Mt CO₂e.

Maiores detalhes desses elementos são fornecidos no Plano de Mitigação de Transporte.

❖ **Indústria**

A indústria brasileira representou 26% do PIB nacional em 2019 (CNI, 2022). Esta participação diminuiu nos últimos 30 anos devido a sucessivas crises. No entanto, presume-se que o crescimento industrial seja reiniciado. De 2020 a 2050, a taxa média de crescimento anual do valor agregado das indústrias de cimento, ferro e aço e química atinge 2,6%, 1,9% e 1,7%, respectivamente.

As emissões setoriais da indústria correspondem a cerca de 11% (165 Mt CO₂e) do total do país, em 2020, sendo que metade provém dos três setores acima mencionados. No CPS, assumindo o mesmo desempenho das atuais políticas e medidas de mitigação, as emissões de GEE atingem 267 Mt CO₂e em 2050, 40% do consumo de energia e 60% da IPPU.

No DDS, a implementação de medidas de mitigação bem conhecidas no setor industrial reduz 34% de suas emissões de GEE em 2050, comparando com o CPS. Não são assumidos novos processos industriais nem tecnologias de mitigação. As ações de mitigação incluem: aceleração substancial da melhoria da eficiência energética, permitindo reduções na intensidade energética das indústrias variando entre 13 e 25% entre 2020-2050, dependendo do ramo industrial; troca de combustível para as energias renováveis, incluindo o aumento da utilização de carvão vegetal para a produção de gusa e de madeira e resíduos em fornos de cimento; e aumento do uso de cinzas e escória para substituir o clínquer na mistura de cimento. A substituição total dos HFCs por gases de baixo poder de aquecimento global (GWP, sigla em inglês) estaria perto da conclusão (redução de 96% de suas emissões) até 2050, em relação a 2020. Como resultado, as emissões de DDS atingem 176 Mt CO₂e em 2050, com as indústrias intensivas em energia respondendo por 87% dessas emissões.

O plano de mitigação da indústria apresenta maiores detalhes.

❖ **Oferta de Energia**

Em ambos os cenários, a produção *offshore* de petróleo e gás a partir da camada pré-sal aumenta de forma constante. Após a forte redução do preço do petróleo devido à crise do COVID-19 (de 66 USD / barril em 2019 para 23 USD / barril em 2020) e o aumento dos preços do petróleo e do gás devido à guerra da Ucrânia, assumiu-se que os preços do petróleo atinjam 50 USD / barril em 2025 e variem em torno desse nível médio ao longo do período 2025-2050. Sob esses pressupostos, o aumento das participações da produção brasileira de petróleo é direcionado para as exportações, uma vez que os custos de produção permanecem baixos e competitivos no mercado mundial. No DDS, essa participação é maior, pois o consumo doméstico de petróleo e gás é 25% menor do que no CPS (em 2050), o que também permite controlar as emissões de GEE das refinarias e as emissões fugitivas.

As emissões totais da oferta de energia em 2050 são de 93 Mt CO₂e no CPS e 52 Mt CO₂e no DDS. No cenário CPS, as emissões relacionadas com a oferta total de energia diminuem até 2025 (devido à redução da utilização de centrais elétricas a combustíveis fósseis) e crescem ligeiramente em 2030 (principalmente devido ao autoconsumo e às emissões fugitivas). As emissões da geração de energia mostram pouco crescimento, atingindo o pico por volta de 2035 e depois diminuindo ligeiramente até 2050. No cenário DDS, as emissões relacionadas à oferta de energia diminuem (devido à redução do uso de usinas térmicas fósseis e à ausência de subsídios para geração térmica a carvão, além de medidas para reduzir a intensidade de carbono no refino e E&P). A tendência de expansão da geração de energia do Brasil já é baseada em fontes renováveis e, portanto, tem menores emissões de GEE do que a maioria dos outros países. Em ambos os cenários, as emissões de GEE da geração de eletricidade diminuem passando de 49 Mt CO₂e em 2020 para 16 Mt CO₂e no CPS e 2 Mt CO₂e no DDS, em 2050.

O consumo de eletricidade cresce mais rapidamente do que o consumo geral de energia, mas os ganhos de eficiência no uso final permitem um menor crescimento do DDS. No CPS, o consumo de eletricidade cresce quase 80% de 2020 a 2050, atingindo 972 TWh (terawatt-hora), mas no DDS, o seu crescimento está limitado a 934 TWh (aumento de 73%), apesar de um aumento de 31 TWh na sua utilização nos transportes, graças a uma redução do consumo de 64 TWh no setor industrial, em comparação com o CPS.

No DDS, a geração de eletricidade brasileira atinge quase emissões líquidas zero até 2050. Em ambos os cenários, a energia hídrica, eólica e fotovoltaica são as principais fontes para expansão da oferta. Após 2040, quando o potencial hidrelétrico brasileiro estará quase totalmente explorado, a biomassa substituirá seu papel e complementarará as contribuições eólicas e solares. Em 2050, a capacidade instalada necessária de energia hidrelétrica será de 147 GW em ambos os cenários. A capacidade eólica *onshore* atinge 41 GW no CPS e 41GW no DDS, enquanto os sistemas fotovoltaicos representam 64 GW no CPS e 63 GW no DDS. A biomassa atinge 31 GW no CPS e 32 GW no DDS. O gás natural é restrito ao CPS com 11 GW e o eólico *offshore* ao DDS com 3 GW.

Além disso, as antigas usinas termelétricas são desativadas e substituídas por usinas renováveis (eólica, solar fotovoltaica e biomassa) devido aos seus custos mais baixos em ambos os cenários. No entanto, no CPS, o gás natural ainda desempenha um papel importante na geração de energia despachável. Por outro lado, no DDS,

grandes capacidades renováveis intermitentes são desenvolvidas usando cada vez mais a geração de energia hidrelétrica para garantir a flexibilidade da operação da rede.

A precificação global do carbono e o rápido desenvolvimento tecnológico em tecnologias de energia renovável (principalmente baterias, energia solar e eólica) são os principais facilitadores internacionais do DDS. Um imposto interno sobre o carbono pode reduzir a competitividade da produção de energia a partir do gás natural, ao passo que as melhorias tecnológicas e o desenvolvimento da experiência internacional podem permitir a competitividade das energias renováveis.

O plano de mitigação da energia fornece informações mais detalhadas sobre estes elementos.

❖ **Resíduos**

Ambos os cenários consideram que as metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e do Plano Nacional de Saneamento (PNSB) são cumpridas quanto à ampliação da cobertura do serviço.

Em relação aos resíduos sólidos, o percentual de resíduos coletados aumenta de 92% hoje para 100% em 2035 em ambos os cenários. No DDS, a disposição adequada em aterro diminui de 57% para 29% em 2050 devido à adoção de outros tipos de tratamento, enquanto no CPS, chega a 61%.

No DDS, a taxa de captura de biogás e destruição de metano em aterros sanitários atinge 25% do biogás produzido em 2050. Assim como nos países desenvolvidos, são introduzidas usinas térmicas e biológicas, atingindo 20% e 6% do total de resíduos gerados, respectivamente. A taxa de reciclagem passa de 2% para 25% também em 2050.

No CPS, apenas a disposição em aterro é a opção tecnológica considerada, com a captura de biogás e a destruição de metano permanecendo a uma taxa de 12% durante todo o período. A taxa de reciclagem permanece em torno de 2%.

A coleta e o tratamento de esgoto em ETEs (estações de tratamento de efluentes) variam de acordo com os cenários. No DDS, a taxa passa de 42% para 96% considerando todas as águas residuais geradas, em 2050, com as estações de tratamento anaeróbio aumentando de 20% para 35% desse volume em 2050. No CPS, a taxa de coleta e tratamento chega a 50%, com o tratamento anaeróbio chegando a 24%. Considerando o metano gerado nessas plantas, no DDS, a taxa de destruição de metano passa de 33% para 43% em 2050, enquanto na CPS, permanece em 33%.

Em 2050, as emissões de GEE no DDS atingem 86 Mt CO₂e, cerca de 50% menos do que o CPS, que aumenta até 169 Mt CO₂e, o que significa 170% a mais do que as emissões de 2020 no setor de resíduos.

A extensão substancial dos serviços de saneamento para melhorar o atual déficit de infraestrutura pode aumentar significativamente as emissões, a menos que as tecnologias de captura e queima de biogás sejam massivamente introduzidas.

As emissões acumuladas de GEE evitadas neste setor são de cerca de 2 bilhões de toneladas de CO₂e. As novas tecnologias serão rentáveis graças aos esquemas globais de precificação do carbono que levam ao comércio

internacional de créditos de carbono e aos fluxos financeiros necessários para atender aos requisitos de financiamento para esses investimentos.

O plano de mitigação de resíduos fornece informações mais detalhadas sobre estes elementos.

3. Metodologia de Modelagem³

Para simular os cenários, utilizamos uma modelagem que integra um conjunto de seis modelos setoriais a um modelo macroeconômico de equilíbrio geral (CGE) específico para o Brasil. Os modelos setoriais são: quatro modelos de demanda de energia (transportes, indústria, edificações e agricultura), um modelo para AFOLU e um modelo de oferta de energia (MATRIZ). Finalmente, um modelo de resíduos completa as estimativas.

As estimativas para a demanda de energia exigem dados semelhantes, como dados demográficos (população) e macroeconômicos (PIB, PIB setorial), bem como níveis de atividade e intensidade energética, de modo a fornecer resultados comparáveis (por exemplo, demanda final de energia em toneladas de óleo equivalente e emissões de GEE). No entanto, podem diferir amplamente em termos de especificação setorial, nível de detalhe e disponibilidade de outros dados.

O modelo 'Transport-Energy-Emissions Multi-Tier Analysis' (TEMA - Análise multinível de emissões de energia de transporte) é utilizado para calcular o uso de energia no setor de transportes brasileiro. O modelo foi desenvolvido por Gonçalves et al. (2019) e aplicado em estudos como Goes et al. (2020a; 2020b) e Gonçalves et al. (2020). Os cenários são projetados simulando a aplicação de políticas climáticas, tendências de mercado e comportamento do usuário que melhor representam as transformações da sociedade ao longo dos anos. Os dados macroeconômicos são utilizados para projetar a atividade de transporte (e a repartição modal) e a consequente utilização de energia bem como as emissões de GEE. No TEMA, o transporte rodoviário é o modo com o mais alto nível de detalhe, considerando 31 tecnologias que incluem categorias de veículos (por exemplo, carros, ônibus, caminhões) e *powertrains* (por exemplo, motores de combustão interna, veículos elétricos movidos a bateria, veículos híbridos, etc.). Os setores ferroviário, aéreo, aquático e de dutos são modelados de forma mais agregada devido à falta de dados em termos de tecnologia. Nesse caso, a abordagem "Activity-Structure-Intensity-Fuel" (ASI, Atividade-Estrutura-Intensidade-Combustível) é utilizada para calcular a utilização de energia e as emissões de GEE.

A abordagem ASIF também é aplicada para estimar o consumo de energia e as emissões de GEE do setor industrial brasileiro desagregado em onze segmentos: (i) Ferro e Aço, (ii) Ferroligas, (iii) Cimento, (iv) Indústria química, (v) Metais não ferrosos, (vi) Papel e Celulose, (vii) Alimentos e Bebidas, (viii) Têxtil, (ix) Mineração e pelletização, (x) Cerâmica, e (xi) Outras Indústrias. A estimativa das emissões de GEE é dividida em duas: (i) emissões do consumo de energia e (ii) emissões de processos industriais e uso de produtos (IPPU). No geral, os processos industriais que emitem GEE são a produção de metais, cimento e outros produtos minerais e produtos

³ Este é um extrato de Wills, et al. 2021, com algumas atualizações.

químicos. As emissões de utilização do produto abrangem as emissões de HFC para refrigeração e as emissões de SF₆ de equipamentos de transporte e distribuição de eletricidade.

As emissões de GEE da demanda de energia de edifícios (residencial, comercial e administração pública) e da agricultura são estimadas considerando as tendências históricas na evolução da demanda de energia e hipóteses do CPS até 2050, de acordo com diferentes fatores. No setor residencial, a demanda de energia responde à demografia e à renda per capita. Nos setores de serviços e da agricultura é impulsionada pelo crescimento setorial do PIB. Dado que não são simuladas mudanças tecnológicas, este cálculo é suficientemente detalhado para fornecer as estimativas globais da demanda setorial de energia. Eventuais diferenças entre os cenários CPS e DDS refletem apenas pequenas mudanças na renda per capita e na participação do PIB na agricultura e nos serviços.

Além do desmatamento, a modelagem AFOLU estima os níveis de atividade futura por correlação com as taxas de crescimento do PIB. Os níveis de atividade são ajustados para atender à demanda por produtos agrícolas de outros setores (etanol, biodiesel e florestas plantadas homogêneas) e exportações, conforme definido pelo modelo CGE. Os pressupostos sobre os ganhos de produtividade são retirados da literatura pertinente e a maioria das estimativas de emissões é calculada de acordo com a metodologia do inventário nacional. Também é simulada a adoção de práticas de mitigação de baixo carbono na agricultura, conforme prescrito no Plano Nacional de Agricultura de Baixo Carbono - Plano ABC (recuperação de pastagens, fixação biológica de nitrogênio, sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e plantio direto). A simulação da produção e da área agrícola inclui soja, milho, cana-de-açúcar e um grupo de 14 culturas (algodão, amendoim, arroz, aveia, centeio, cevada, ervilha, fava, feijão, girassol, mamona, sorgo, trigo e triticale) e carne bovina. As taxas de desmatamento não são diretamente ligadas ao PIB, são definidas com base no julgamento de especialistas. Assim como a taxa de desmatamento, as terras a serem destinadas a unidades de conservação e as terras indígenas são determinadas de forma exógena. A área destinada à restauração de florestas nativas varia de acordo com os cenários.

Por fim, o modelo MATRIZ (CEPEL, 2020) representa o sistema energético brasileiro e detalha os setores de oferta de energia elétrica e refino de petróleo. O MATRIZ é um modelo de programação linear *bottom-up* para o planejamento de sistemas energéticos de médio a longo prazo, semelhante ao MESSAGE e ao TIMES (IEA-ETSAP, 2020; IIASA, 2020).⁴ Uma função objetiva minimiza o valor presente do custo total de investimento e operação do sistema para suprir a demanda final exógena de energia com base na disponibilidade de recursos, escolhendo a melhor configuração para expansão de capacidade e oferta de energia no horizonte avaliado. As cadeias de energia são representadas pela ligação de níveis de energia primários, secundários, finais e úteis. Uma mistura de diferentes tecnologias representa conversões de energia e extrações de recursos. Quatro subsistemas operacionais respondem pela complexidade do setor elétrico brasileiro. Além disso, cada período da análise é detalhado em quatro estações, cada uma contendo dois níveis de demanda de energia: pico e fora de pico. Esse nível de especificação é essencial para a segurança energética, garantindo que o sistema atenda às demandas sazonais e horo-sazonais e à geração de energia, bem como a períodos potenciais de hidrologia crítica. O MATRIZ calcula

⁴ MESSAGE e TIMES são ambos modelos *bottom up* de oferta de energia que usam programação linear para produzir um sistema de energia de menor custo, otimizado de acordo com uma série de restrições do usuário, geralmente em horizontes de tempo de médio a longo prazo.

as emissões de GEE de forma endógena. Uma penalidade é simulada na função objetivo especificamente para as tecnologias de combustíveis fósseis para representar a precificação do carbono.

Os modelos setoriais alimentam o IMACLIM-BR, um modelo de equilíbrio geral capaz de simular os efeitos macroeconômicos e sociais das políticas climáticas e da precificação de carbono no Brasil, (Wills et al., 2021; Gherzi, 2015; Hourcade et al., 2006).⁵ É um modelo de simulação dinâmica que retrata o crescimento econômico anual resultante de pressupostos sobre disponibilidade de mão de obra e produtividade do trabalho. Além dessas especificações centrais e para aumentar a relevância empírica, de forma semelhante às versões de outros países, o IMACLIM-BR se desvia do padrão CGE neoclássico por meio de quatro características principais, criando assim um modelo CGE híbrido para o Brasil⁶.

Em primeiro lugar, o IMACLIM-BR é calibrado com base em dados híbridos originais que conciliam as contas nacionais com o balanço energético e os preços verificados no ano base. Os dados de 2015 recentemente atualizados assumem a forma de uma Matriz de Contabilidade Social de 19 setores apoiada por contas satélites de seis fluxos de commodities energéticas consistentes com os preços documentados do mercado de energia específicos de agentes. A contabilidade híbrida tem uma influência significativa na análise macroeconômica por meio da reavaliação das participações de custo da energia nas funções de produção por meio das parcelas orçamentárias de energia para as famílias e da desagregação do consumo de energia entre setores e agentes (Combet et al., 2014; Le Treut, 2017).⁷

Em segundo lugar, o IMACLIM-BR traça caminhos de crescimento sob restrição de fluxos de energia a preços específicos do agente e requisitos de capital para oferta de energia e uso final de energia (Gherzi, 2015). Isso aloca parte do valor agregado para despesas de energia sob restrição e parte das dotações de fatores primários para volumes de oferta de energia restritos. Essas restrições de volumes, custos e preços pesam sobre o crescimento econômico.

Em terceiro lugar, o IMACLIM-BR simula um crescimento subótimo baseando-se em trajetórias de investimento exógenas em vez de otimização intertemporal e considerando mercados não energéticos imperfeitos através da subutilização de capital e trabalho. No mercado de trabalho, a inércia dos salários reais impede o pleno emprego, ou seja, simula a taxa de desemprego por meio de uma "curva salarial" (Blanchflower e Oswald, 2005). A taxa de utilização do capital é uma variável exógena que efetivamente aumenta o estoque de capital disponível. A trajetória da mobilização da capacidade ociosa é calibrada de modo a ser compatível com a reabsorção gradual do desemprego em condições de BAU (para o nosso cenário BAU, ver abaixo). É comum a todos os cenários.

⁵ O IMACLIM existe em uma versão multirregional global (Crassous et al., 2006; Sassi et al., 2010) e em um número crescente de versões de países (Hourcade et al., 2010; Testamentos, 2013; Schers et al., 2015; Le Treut, 2017; De Lauretis, 2017; Gupta et al., 2019, 2020; Soummane et al., 2020; Le Treut et al., 2021). Ver <http://www.centre-cired.fr/en/imaclim-network/imaclim-network-en/>.

⁶ Por uma questão de transparência e para facilitar a expansão para novas economias, o IMACLIM, incluindo sua versão brasileira IMACLIM-BR, agora tem acesso aberto e hospedada no Github (Le Treut et al., 2019). Além disso, Le Treut (2020) apresenta as equações genéricas das versões nacionais do IMACLIM. Todas as especificações nele contidas aplicam-se ao IMACLIM-BR, salvo especificação em contrário nos parágrafos seguintes.

⁷ Os 19 setores são: carvão, petróleo e derivados excluindo diesel, gás natural, biocombustíveis, diesel, eletricidade, silvicultura, pecuária, outra agricultura, cimento, ferro e aço, metais não ferrosos, produtos químicos, laticínios e produtos à base de carne, outras indústrias alimentícias, papel e celulose, outras indústrias, transportes e outras atividades. Os setores foram agregados a partir da matriz híbrida de 40 setores publicada em Grottera et al. (2021).

Por fim, o IMACLIM-BR se desvia ainda mais do paradigma neoclássico ao considerar o fechamento da poupança externa, ou seja, da balança comercial, para acomodar a dinâmica exógena do investimento e da poupança das famílias e o balanço orçamentário público resultante de alíquotas exógenas de impostos e dos gastos públicos (em proporção do PIB). Essa escolha de fechamento destina-se a representar a política monetária efetivamente adaptando a poupança externa para alinhar a poupança total com os requisitos de investimento (Taylor e Lysy, 1979).

O acoplamento entre os modelos *bottom-up* e o IMACLIM-BR é realizado por meio de uma troca de informações e dados chaves, de forma interativa, notadamente para atividade econômica setorial, intensidades e custos de energia, energia comercializada e custos de capital (Figura 1).

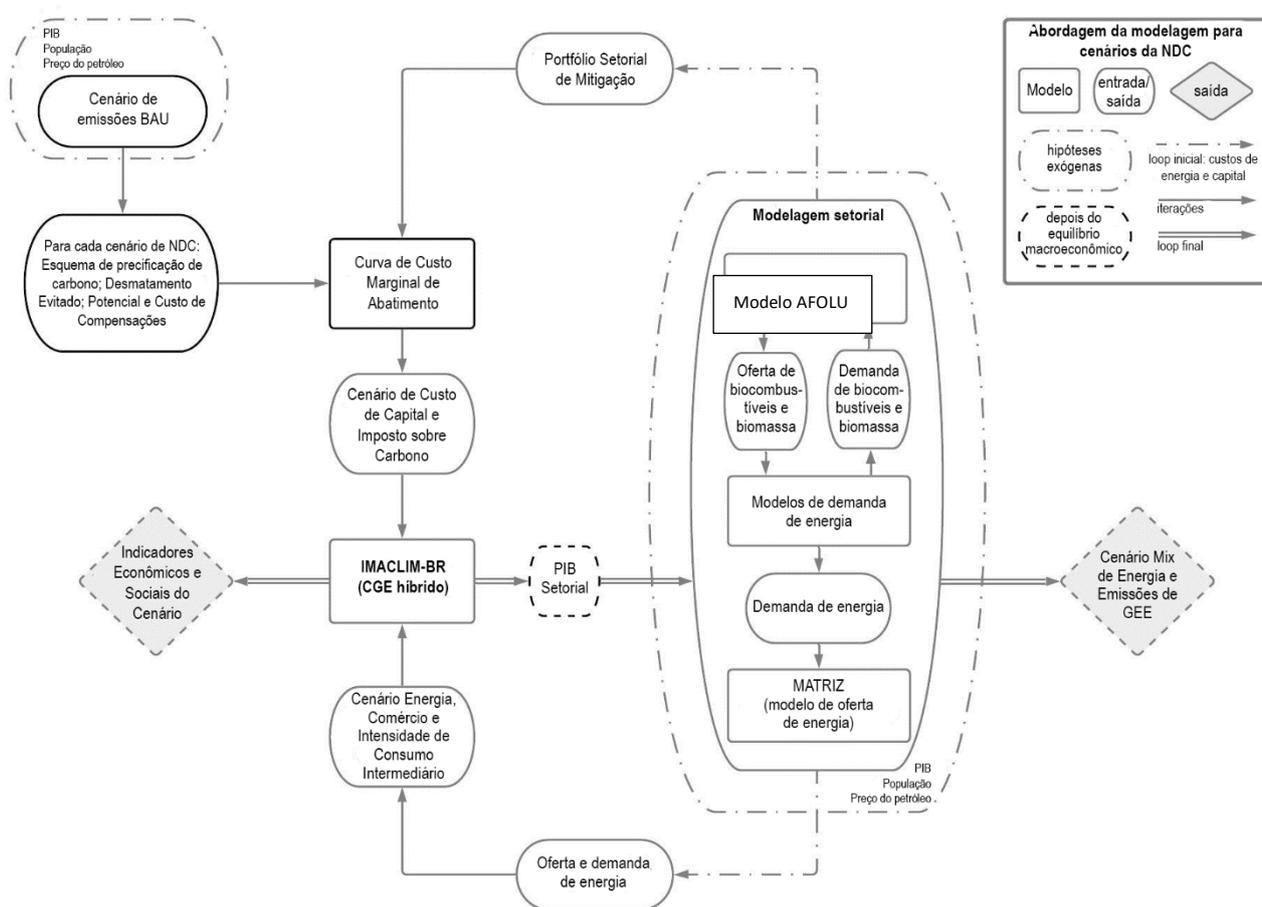


Figura 1. Diagrama de modelagem integrada para cenários do Brasil

Fonte: Adaptado de Wills et al. (2021)

O preço do carbono aumenta linearmente dentro de cada década, e auxiliou na definição de quais medidas de mitigação devem ser simuladas pelos modelos setoriais que informaram o IMACLIM-BR sobre a oferta e

demanda de energia e o total de investimentos necessários em mitigação. Esta troca de informações permite estimar os custos de mitigação e a demanda/oferta de energia por modelos setoriais e ser coerentes com a demanda de capital e os coeficientes de energia e tecnologia do modelo CGE. Após garantir o equilíbrio macroeconômico, além dos indicadores econômicos e sociais, o IMACLIM-BR disponibiliza novos níveis de atividade por setor, iniciando novamente o processo de iteração para calcular a demanda e oferta total de energia e o preço de equilíbrio do carbono.

Reduzir as emissões do desmatamento requer a retomada das políticas de comando e controle, já que a maioria delas resulta de atividades ilegais (Wills et al, 2021; Grottera et al., 2022).⁸

4. Ações de Mitigação, Metas e Marcos por Setor⁹

Nos cenários, as emissões de GEE atingem -87 Mt CO₂e no DDS e 1868 no CPS até 2050. A Tabela 1 apresenta os números por setor.

A maior parte das reduções de emissões de GEE vem da mudança do uso da terra e florestas. Em comparação com o CPS, em 2050, as emissões de DDS do desmatamento são 93% menores, uma redução de 967 Mt CO₂e. Além disso, as remoções de carbono aumentam 87%, o equivalente a 531 Mt CO₂e, graças ao aumento das áreas florestais e protegidas (terras indígenas e unidades de conservação). Os transportes são o segundo setor mais relevante, com uma redução de emissões de 129 Mt CO₂e (54%), seguido do setor dos resíduos com uma redução de 83 Mt CO₂e (49%), e das atividades pecuárias com 116 Mt CO₂e (22%). Finalmente, na indústria, a redução é de 91 Mt CO₂e (34%), e na oferta de energia somada a outros setores de consumo de energia é de 41 Mt CO₂e (35%). A única atividade com um ligeiro aumento nas emissões é o cultivo, com 4 Mt CO₂e (3%) a mais no DDS devido a um crescimento expressivo na produção, apesar da área agrícola aumentar moderadamente devido a altos ganhos de produtividade.

No DDS, apenas dois setores têm emissões de GEE mais altas em 2050 do que no ano-base de 2020: as atividades de cultivo aumentam as emissões em 29% e a indústria em 7%. Nestes casos, sob a suposição de que não há grandes avanços ou tecnologias disruptivas, a melhoria tecnológica atual é insuficiente para compensar os níveis de produção mais elevados.

⁸ Carolina Grottera, Giovanna Ferrazzo Napolini, Emilio Lèbre La Rovere, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Tainan de Farias Nogueira, Otto Hebeda, Carolina Burle Schmidt Dubeux, George Vasconcelos Goes, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Gabriela Mota da Cruz, Claudio Joaquim Martagão Gesteira, William Wills, Gabriel Malta Castro, Márcio de Almeida D'Agosto, Gaëlle Le Treut, Sergio Henrique Ferreira da Cunha, Julien Lefèvre. Implicações da política energética dos cenários de precificação de carbono para a implementação da NDC brasileira, Política Energética, Volume 160, 2022, 112664, versão impressa ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112664>.

⁹ Esta seção é um extrato do relatório DDPBIIICS atualizado pela Climate and Development Initiative (Unterstell e La Rovere, et al., 2021)

Tabela 1. Total de emissões brasileiras de GEE por setor, 2005-2050, nos cenários CPS (políticas atuais) e DDS (descarbonização profunda) (Mt CO₂e)

MtCO ₂ e	Cenário	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Mudança de Uso do Solo (MUT) – emissões brutas	CPS	2.258	933	932	1034	1.039	1.039	1.039	1.039
	DDS					1.039	624	204	72
Remoções (MUT, Floresta, Áreas Protegidas e Outros)	CPS	-678	-675	-562	-608	-591	-573	-593	-610
	DDS					-683	-747	-882	-1.141
Agricultura	CPS	127	143	157	92	93	97	101	115
	DDS					91	99	106	119
Pecuária	CPS	393	395	399	432	450	466	485	529
	DDS					442	453	444	413
Transporte	CPS	139	174	206	175	195	209	220	240
	DDS					181	166	138	111
Indústria (Energia + IPPU)	CPS	141	162	167	165	176	194	231	267
	DDS					164	169	175	176
Energia (Oferta + Residencial e Serviços)	CPS	115	128	182	124	111	126	116	118
	DDS					96	93	86	77
Resíduos	CPS	67	74	84	99	110	121	143	169
	DDS					102	102	93	86
Total	CPS	2.562	1.336	1.564	1.511	1.584	1.679	1.742	1.868
	DDS					1.432	957	364	-87

Fonte: 2005-2015 a partir de Brasil (2020); estimativas dos autores para 2020-2050 (Unterstell, La Rovere et al., 2021)¹⁰

- Contribuição setorial para a mitigação

No DDS, além do enorme esforço para conter o desmatamento e aumentar as remoções, a política de precificação do carbono fornece as ações complementares de mitigação em outros setores necessárias para atingir emissões líquidas zero em 2050. A Tabela 2 apresenta as emissões acumuladas de GEE evitadas por década (Mt CO₂e).

¹⁰ Unterstell e La Rovere et al., (2021). Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030

Tabela 2. Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por ações de mitigação, por década (Mt CO₂e)

Emissões evitadas cumulativas por década (Mt CO ₂ e)	Décadas		
	2021 – 2030	2031 – 2040	2041 – 2050
Ações de mitigação total	2.584	9.720	14.548
Política de Precificação de Carbono	1.188	2.809	5.358
AFOLU	785	1.483	3.281
Restauração de florestas nativas em áreas públicas (por meio de concessão governamental)	57	302	1.291
Restauração de mata nativa em áreas privadas (compensações)	181	322	572
Florestas plantadas (sistemas lavoura-pecuária-floresta integrados e florestas homogêneas)	275	244	275
Agricultura	70	76	38
Pecuária (restauração de pastagens degradadas, intensificação, outros)	202	538	1.105
Transporte (carga e passageiro)	239	639	1.064
Troca de modal	65	169	271
Eletromobilidade	125	346	520
Biocombustíveis	48	124	273
Indústria	139	387	694
Indústrias energo-intensivas	99	257	451
Indústria leve (resto da indústria)	40	129	243
Oferta de Energia	25	300	319
Geração de eletricidade	8	112	100
Autoconsumo e emissões fugitivas	17	188	219
Outras políticas de mitigação	1.396	6.911	9.190
AFOLU	1.290	6.531	8.458
Redução da taxa anual de desmatamento + aumento de unidades de conservação, terras indígenas e outras áreas protegidas	1.290	6.531	8.458
Resíduos	106	380	732

Fonte: Baseado em La Rovere et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021) com ajustes de atualização

As políticas de comando e controle combinadas com a restrição do acesso de agricultores e pecuaristas a créditos públicos (sujeitos à conformidade com as leis e regulamentos ambientais) são responsáveis por 65% do total cumulativo de reduções de emissões de GEE até 2050 por meio da redução acentuada da taxa anual de desmatamento. O registro de 2004-2012 já demonstrou o potencial destas medidas se puderem ser novamente adotadas com êxito. As medidas de comando e controle permitem também aumentar a captura de carbono, aumentando o número e a superfície das áreas de conservação (por exemplo, áreas de preservação permanente, demarcação de terras indígenas e outras reservas legais).

A política de precificação do carbono pode fornecer 35% do total de emissões acumuladas evitadas até 2050 em diferentes setores: AFOLU (59%), Transportes (21%), Indústria (13%) e Oferta de energia (7%). A

restauração da vegetação nativa em áreas públicas e privadas tem um potencial de redução significativo e custos mais baixos do que em outros setores. Permite a remoção de 1650 Mt CO₂e até 2050, quando a restauração da vegetação nativa atinge 30,18 milhões de ha. As áreas privadas apresentam custos mais atrativos do que as áreas públicas (5,3 versus 12,9 USD/t CO₂e em 2021, 6,1 versus 21,3 em 2031 e 6,8 versus 23,5 em 2041). Considerando a aplicação do Código Florestal, as áreas privadas geram maiores emissões evitadas cumulativas nos períodos 2021-2030 (181 versus 57 Mt CO₂e) e 2031-2040 (322 versus 302 Mt CO₂e) do que as áreas públicas. No entanto, na última década, a maior parte das remoções vem de áreas públicas, graças a uma melhor relação custo-benefício. Assim, sua contribuição para as emissões cumulativas evitadas de GEE ao longo do período 2020-2050 alcança 1.650 contra 1.075 Mt CO₂e de áreas privadas.

A análise dos custos de mitigação indica a trajetória dos preços do carbono. Os custos de uma determinada opção de mitigação podem variar ao longo das três décadas devido ao aumento das economias de escala e variações nos pressupostos de custo (por exemplo, diminuição dos custos para veículos elétricos e eletricidade renovável). A Tabela 3 apresenta as emissões evitadas acumuladas de cada década por faixa de custo de mitigação (USD/t CO₂e).

Uma parte significativa das emissões evitadas pode ser obtida a custos negativos. Por exemplo, as trocas de modais no setor do transporte de mercadorias (por exemplo, de rodoviário para ferroviário e aquaviário), uma vasta gama de medidas de eficiência energética na indústria e práticas agrícolas sustentáveis (por exemplo, sistemas de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio) podem ser implementadas a custos negativos até 2050. Na última década, essa participação foi reduzida para 13%.

Um caminho para emissões líquidas zero de GEE em 2050 pode ser alcançado com um preço de carbono de 19,0, 34,1 e 49,3 USD/t CO₂e, respectivamente, em cada década (taxa de câmbio de 2020). AFOLU continua a ser o setor-chave, uma vez que apresenta o maior potencial de mitigação, com um baixo custo por emissão de GEE evitada. As medidas de eficiência energética na indústria e a eletromobilidade no transporte de passageiros também fazem contribuições relevantes. A carteira de ações de mitigação identificada apresenta um declínio significativo nos retornos marginais após 26,6 USD/t CO₂e. Portanto, uma trajetória muito mais econômica dos preços do carbono (como 19,0, 22,8 e 26,6 USD/t CO₂e em cada década, por exemplo) pode fornecer uma meta ambiciosa de mitigação em 2050, não garantindo, mas se aproximando da neutralidade climática, pois forneceria 100%, 87% e 94% das emissões acumuladas evitadas no DDS em cada década. Isso se deve principalmente à hipótese de utilização apenas das tecnologias disponíveis. Ele ilustra o vasto potencial de mitigação pronto para ser aproveitado a baixos custos no Brasil, mesmo antes da implantação de novas tecnologias disruptivas que devem entrar em operação até 2050.

Tabela 3. Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por faixa de custo de ações de mitigação, por década (Mt CO₂e)

Faixas de custo da ação de mitigação (USD / t CO ₂ e)	2021 – 2030		2031 – 2040		2041 – 2050	
	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período
até 3,8	365	36%	1.060	40%	1.647	32%
até 7,6	659	65%	1.613	62%	2.236	43%
até 11,4	659	65%	1.613	62%	3.299	63%
até 15,2	963	95%	1.619	62%	3.299	63%
até 19,0	1,013	100%	1.619	62%	3.299	63%
até 22,8			2.282	87%	3.308	63%
até 26,6			2.309	88%	4.916	94%
até 30,4			2.319	89%	4.916	94%
até 34,2			2.618	100%	4.916	94%
até 49,3					5.254	100%

- Implicações macroeconômicas e sociais do cenário de mitigação

O DDS permite alcançar a neutralidade de carbono, mantendo resultados de desenvolvimento econômico e social ligeiramente melhores do que o CPS. Ao longo do período até 2050, o PIB e o PIB per capita são ligeiramente mais elevados, a taxa de desemprego é ligeiramente inferior e o rendimento disponível médio para a classe de rendimento familiar mais pobre é ligeiramente superior ao CPS. As Tabelas 4 e 5 comparam os resultados macroeconômicos e sociais dos dois cenários.

Tabela 4. Principais resultados macroeconômicos dos cenários

Cenário	2015	2020	CPS (2030)	CPS (2050)	.DDS (2030)	.DDS (2050)
População	203	212	225	233	225	233
PIB (Bilhões 2020 USD)*	1.438	1.405	1.810	2.692	1.814	2.695
Varição do PIB em relação ao CPS	-	-	-	-	0,3%	0,1%
PIB per capita (Mil 2020 USD)	7,07	6,64	8,05	11,56	8,07	11,57
Balança Comercial (% do PIB)	-0,4%	-1,0%	-0,4%	-0,2%	-0,5%	-0,9%
Taxa de desemprego (%)	9,5%	7,6%	6,9%	7,4%	6,8%	7,2%
Índice de preços em relação ao CPS (CPS=1)	-	-	-	-	1,01	1,04
Total das emissões líquidas (Mt CO ₂ e)	1.564	1.511	1.679	1.868	957	-87
Emissões per capita (t CO ₂ e)	7,70	7,13	7,46	8,02	4,25	-0,37
Preço do carbono (2020 USD/t CO ₂ e)	-	-	-	-	19,0	49,3
Receitas de precificação de carbono (Bilhões 2020 USD)	-	-	-	-	16,0	43,0

* taxa de câmbio: 5,15 R\$/USD (2020).

Fonte: com base em La Rovere, et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021)

Tabela 5. Renda disponível das famílias por cenário e por classe de renda, 2015-2050

Cenário	2015	2020	CPS (2030)	CPS (2050)	.DDS (2030)	.DDS (2050)
Renda Disponível HH1 (2015=1) (20% mais pobres das famílias)	1,00	1,05	1,45	2,43	1,46	2,46
Renda Disponível HH2 (2015=1) (40% dos domicílios)	1,00	1,04	1,38	2,16	1,38	2,17
Renda Disponível HH3 (2015=1) (30% dos domicílios)	1,00	1,01	1,29	1,92	1,29	1,93
Renda Disponível HH4 (2015=1) (10% mais ricos das famílias)	1,00	0,98	1,22	1,79	1,23	1,80
Renda Disponível HH1 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	0,3%	1,15%
Renda Disponível HH2 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	0,07%	0,35%
Renda Disponível HH3 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	-0,01%	-0,08%
Renda Disponível HH4 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	-0,06%	-0,28%

Fonte: com base em La Rovere, et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021)

A política de precificação do carbono conduz a níveis de preços internos mais elevados, contribuindo para a deterioração dos termos de troca e afetando os resultados da balança comercial. A relação déficit da balança comercial/PIB é mais elevada no DDS do que no CPS, ao longo do período até 2050, embora inferior à de 2020 (mas superior à de 2015).

A reciclagem inteligente das receitas da precificação de carbono pode ser socialmente amigável. As receitas de carbono são distribuídas de volta para a economia, mantendo a evolução da capacidade líquida de financiamento do governo idêntica nos cenários CMA e REF, sob as seguintes regras: (i) parte das receitas de carbono é transferida de volta do governo para as famílias para neutralizar o efeito do preço do carbono sobre poder de compra; (ii) o

restante das receitas de carbono é usado para reduzir os encargos trabalhistas. Este último reduz as distorções na economia e é fundamental para criar mais 150 mil empregos no DDS em comparação com o CPS. Esses empregos são criados principalmente nos setores de serviços, transporte, florestas e biocombustíveis. O preço do carbono penaliza os setores intensivos em carbono em uma proporção mais alta, e a reciclagem das receitas de carbono favorece setores mais intensivos em mão-de-obra e classes domésticas mais pobres.

Os níveis mais elevados de emprego e salário no DDS melhoram a distribuição de renda. O impacto positivo nos níveis de renda das famílias é particularmente relevante nos grupos HH1 e HH2 (60% da base), que dependem mais da renda do trabalho. O HH1 (os 20% de domicílios mais pobres, a maioria dos quais estava abaixo da linha de extrema pobreza no ano base) se beneficia ainda mais do cenário DDS devido às transferências diretas das receitas de carbono coletadas do governo.

O DDS permite a neutralização das emissões de GEE em 2050, ao mesmo tempo em que mitiga os efeitos adversos da tributação do carbono nas famílias pobres. Os ganhos de renda disponível no DDS são significativos em comparação com o CPS, graças a níveis mais altos de atividade, menores encargos trabalhistas e maiores transferências do governo, que se refletem em mais empregos e maior renda. O DDS também é progressivo na distribuição de renda ao longo do período até 2050, já que as classes de renda mais baixas apresentam maior crescimento da renda disponível do que as mais ricas e um aumento mais rápido do que no CPS.

- Políticas e ações prioritárias de curto prazo no caminho para o zero líquido em 2050

As prioridades para o curto prazo derivadas da análise de cenários são:

- ✓ Retomar as políticas bem-sucedidas adotadas no passado recente (2004-2012) para reduzir drasticamente as taxas anuais de desmatamento (comando e controle e instrumentos econômicos).
- ✓ Desenvolver mecanismos financeiros inteligentes para promover o financiamento de oportunidades de investimento, principalmente na restauração da cobertura florestal e infraestrutura de baixo carbono.
- ✓ Precificação do carbono: fornecer um sinal estável e de longo prazo para induzir os agentes econômicos a escolher tecnologias de baixo carbono por meio de um esquema de *cap-and-trade* bem estruturado para a indústria e uma taxa de carbono em outros setores.
- ✓ Contar com o setor AFOLU para reduzir e capturar a maior parcela de emissões na primeira metade do século para se aproximar da meta líquida zero até 2050 ajuda a reduzir os custos gerais para o Brasil e fornece tempo suficiente para que as tecnologias disruptivas sejam economicamente viáveis.

No setor de AFOLU, políticas e ações focadas na redução do desmatamento e no aumento dos sumidouros de carbono são fundamentais no Brasil. Infelizmente, o governo que se encerrou em 2022 interrompeu várias políticas ambientais bem-sucedidas; portanto, as taxas anuais de desmatamento aumentaram nos últimos anos. A

retomada das estratégias de comando e controle – monitoramento, fiscalização, cobrança de multas e aplicação de embargos – que já são conhecidas e eficazes na redução do desmatamento, é considerada uma prioridade de curto prazo. Outras políticas e ações efetivas são: promover a articulação e a integração entre os diversos órgãos governamentais; regularização ambiental e fundiária; concessão florestal em terras públicas não designadas para qualquer uso específico; ampliação das áreas de conservação sob a categoria de unidades de conservação e demarcação de terras indígenas.

No setor agropecuário, políticas e ações efetivas estão associadas ao condicionamento de empréstimos públicos em condições favoráveis a agricultores e pecuaristas ao cumprimento do Código Florestal e das normas ambientais (Cadastro Ambiental Rural – CAR); monitoramento da origem dos produtos agrícolas (rastreadabilidade) e restrição à comercialização de produtos associados ao desmatamento; e mecanismos financeiros para promover práticas agrícolas de baixo carbono, incluindo assistência técnica e extensão rural.

No transporte, as reduções mais rápidas de emissões de GEE no curto prazo podem ser alcançadas acelerando-se o programa **RenovaBio** com metas maiores para as vendas de biocombustíveis e atualizando-se regularmente as metas de eficiência energética para motores de combustão interna. Isso inclui um maior incentivo público aos biocombustíveis de segunda geração, particularmente **HVO**, cada vez mais adicionado às misturas de biodiesel-diesel. A introdução da taxa de carbono sobre a gasolina e o diesel também é necessária. Além disso, é necessário implantar um conjunto complementar de instrumentos de política para priorizar o transporte público. Isso significa aumentar os subsídios e as isenções fiscais aos sistemas de transporte público de massa para melhorar a capacidade do setor de lidar com a incerteza e a instabilidade econômica pós-pandemia. A concepção e implementação de novos modelos de negócio associados à penetração dos carros elétricos pode ajudar a recuperar e melhorar o serviço de transporte rodoviário urbano (altamente impactado pela pandemia). Além disso, o desenvolvimento e a aprovação de normas e regulamentos, combinados com campanhas de educação e conscientização, são necessários para o crescimento do mercado de veículos elétricos (principalmente nas áreas metropolitanas).

O apoio financeiro ao investimento em tecnologias de baixo carbono através de mecanismos de crédito e isenções fiscais são prioridades de curto prazo para a indústria. A transição para uma indústria menos intensiva em carbono deve ser apoiada por investimentos significativos e uma mudança na atual estrutura financeira que não favorece as tecnologias de baixo carbono. O acesso a produtos financeiros e isenções fiscais para esses tipos de investimento é necessário para torná-los mais rentáveis. Além disso, um sistema de *cap-and-trade* para redução de emissões de GEE na indústria, permitindo compensações da AFOLU até um limite, é fundamental para ajudar a descarbonizar o setor. A precificação do carbono melhora a competitividade e os benefícios às empresas que assumem a liderança.

No que diz respeito à oferta de energia, é fundamental manter a política energética nacional orientada para explorar o potencial de implantação de energias renováveis. Um esquema de precificação do carbono incentivará o uso e a produção de biocombustíveis e evitará o aumento da capacidade de geração de energia termelétrica a combustíveis fósseis. O gás natural é um combustível de transição para uma transformação sustentável do sistema energético, enquanto devem ser aplicados incentivos para acelerar o descomissionamento da geração a carvão. A

eliminação gradual dos subsídios aos combustíveis fósseis, que não ajudam os pobres e dificultam os esforços em matéria de energias renováveis e de eficiência energética, é também uma medida fundamental. A reforma dos subsídios aos combustíveis fósseis deve ser acompanhada de um apoio transitório direcionado e limitado no tempo para indústrias, comunidades, regiões e consumidores vulneráveis. Os incentivos à geração distribuída de energia solar fotovoltaica têm de ser mantidos durante algum tempo (os subsídios e as isenções fiscais só seriam totalmente retirados em 2045).

No setor dos resíduos, é fundamental conceber e implementar incentivos e regulamentos adequados para promover a captura e queima do biogás e a sua utilização como combustível. Promover a capacitação dos municípios e incentivar parcerias para desenvolver um portfólio de oportunidades de investimento também é fundamental. O aumento das taxas de reciclagem pode ser alcançado através de uma regulamentação mais rigorosa e de sinais de mercado corretos para incentivar a reinserção de materiais de sucata e resíduos pós-consumo no ciclo económico.

- Principais facilitadores e aceleradores internacionais de transições domésticas

As principais condições internacionais que tornam o DDS plausível no Brasil são:

- ✓ Forte esforço internacional para cumprir o Acordo de Paris, com a maioria dos países adotando a precificação do carbono.
- ✓ Apoio substancial dos países do Anexo I para promover fluxos financeiros direcionados para ações de mitigação em países não incluídos no Anexo I, incluindo tanto os instrumentos de financiamento climático no âmbito da UNFCCC (GCF, SDM) como as iniciativas financeiras internacionais para canalizar capital privado para investimentos de baixo carbono.
- ✓ Os preços internacionais do petróleo permitem que a produção doméstica de petróleo *offshore* do pré-sal seja competitiva.
- ✓ Mecanismos comerciais preferenciais com impostos mais baixos que incentivem as importações de produtos de baixo carbono (por exemplo, aço verde) pelos países do Anexo I e exijam rastreabilidade e prova de origem das exportações de produtos agrícolas e florestais (contribuindo para o controle do desmatamento no Brasil).

AFOLU: Imposto de ajuste de fronteira de acordo com as pegadas de carbono e incentivos de mercado para produtos agrícolas e florestais com rastreabilidade e prova de origem podem ajudar a controlar o desmatamento no Brasil. A crescente demanda internacional por pellets de madeira pode ajudar o Brasil a plantar florestas para exportação maciça. O consumo global de carne per capita aumentará, e o Brasil continuará sendo um importante ator global no fornecimento de carne bovina. A demanda continuará aumentando à medida que a carne se tornar mais acessível nos países em desenvolvimento e menos desenvolvidos. O crescimento económico global, especialmente em países asiáticos e latino-americanos com grandes classes médias, favorecerá o crescimento da demanda por carne, mesmo com um declínio na demanda dos países desenvolvidos.

Transportes: A consciencialização global e os interesses locais (decisores políticos e potenciais investidores) convergirão, tornando a mobilidade elétrica a bateria a principal mudança tecnológica no setor dos transportes, em detrimento, por exemplo, dos veículos a célula de combustível, dos híbridos não plug-in e dos convencionais equipados com motores de combustão interna. O fim da produção de veículos de passageiros com motores de combustão interna em larga escala ocorrerá primeiro nos países exportadores líderes. Ao mesmo tempo, a relação entre preço e densidade energética das baterias continuará em declínio, atingindo a paridade de preço de compra em relação aos veículos convencionais no Brasil entre 2035 e 2040. O ritmo lento em comparação com os principais atores globais se deve à ausência de fabricantes e fornecedores locais de veículos elétricos e a uma moeda instável. As principais rotas que conectam as áreas metropolitanas regionais e nacionais entre os países fornecerão estações de carregamento para médias e longas distâncias. Os problemas relacionados à interoperabilidade entre estações geridas por diferentes operadores e a segunda vida útil das baterias de veículos elétricos não serão representativos. Os biocombustíveis *drop-in* serão fundamentais ao considerar soluções não elétricas em todos os países, sendo alocadas sobretudo ao transporte de carga de longa distância.

Indústria: A precificação global de carbono e a implantação de tecnologias de baixo carbono ajudam a indústria nacional a embarcar em um caminho de descarbonização. Os preços globais do carbono tornarão os produtos menos intensivos em carbono mais competitivos, recompensando os pioneiros que investem em tecnologias de baixo carbono. Novos processos industriais econômicos reduzirão a pegada de carbono do cimento e do aço. Os custos de investimento são um dos principais obstáculos para o setor. Tecnologias como a redução direta do minério de ferro usando hidrogênio são caras para a indústria brasileira. A consolidação de novas tecnologias e a diminuição de custos serão fundamentais para ajudar na descarbonização do setor industrial.

Oferta de energia: Pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia mais eficazes e financiamento internacional de investimento de longo prazo são os principais facilitadores para a descarbonização no setor. A disponibilidade de tecnologias custo-efetivas de gás natural para substituir o carvão e os derivados de petróleo na indústria (por exemplo, redução direta do minério de ferro para a fabricação de aço), bem como para a geração de energia com baixo fator de carga (para complementar fontes de energia intermitentes, como geração eólica e solar) ajudará a evitar o *lock-in* de carbono (se o gás natural for canalizado para a geração de energia de carga na base). Os preços internacionais do petróleo permitirão que a produção doméstica de petróleo *offshore* do pré-sal seja competitiva. Isso proporcionará a oportunidade de ampliar o uso da renda do petróleo para a melhoria da educação e da saúde no país. A reciclagem das receitas de preços de carbono para reduzir os impostos sobre o trabalho e reduzir os custos de capital incentivará a criação de empregos e o investimento em infraestrutura de baixo carbono, melhorando a produtividade econômica geral.

Resíduos: Os fluxos financeiros internacionais, tanto através do artigo 6.º do Acordo de Paris como dos mercados voluntários de carbono, podem aumentar significativamente os investimentos na captura e queima de biogás. A promoção da utilização do biogás como fonte de energia (por exemplo, como biometano) e a transferência de tecnologia de outras soluções ambientalmente adequadas podem ajudar a mitigação neste setor.

- Resumo das principais conclusões

- ✓ O DDS é apenas um entre muitos caminhos para o Brasil alcançar a neutralidade climática até 2050.
- ✓ Pressuposto subjacente: utilização apenas das tecnologias disponíveis; enorme potencial de mitigação a baixos custos no Brasil mesmo antes da implantação de *breakthroughs* tecnológicos.
- ✓ A redução acentuada da taxa anual de desmatamento e a restauração da vegetação nativa em áreas públicas e privadas têm um potencial de redução significativo e custos mais baixos do que as ações de mitigação em outros setores.
- ✓ Um caminho para emissões líquidas zero de GEE em 2050 pode ser alcançado com um preço de carbono de 19,0, 34,1 e 49,3 USD / t CO₂e, respectivamente, em cada década.
- ✓ Esta via de precificação do carbono permite estabelecer metas e marcos setoriais de mitigação consistentes com uma meta de emissões líquidas zero de GEE em toda a economia em 2050, abrindo caminho para a criação de um esquema de *cap-and-trade* para o setor industrial e planos de mitigação setoriais.
- ✓ O DDS permite alcançar a neutralidade de carbono e, ao mesmo tempo, alcançar resultados de desenvolvimento econômico e social ligeiramente melhores do que o CPS (graças a uma reciclagem inteligente das receitas de precificação de carbono).

- Visualização dos resultados do país

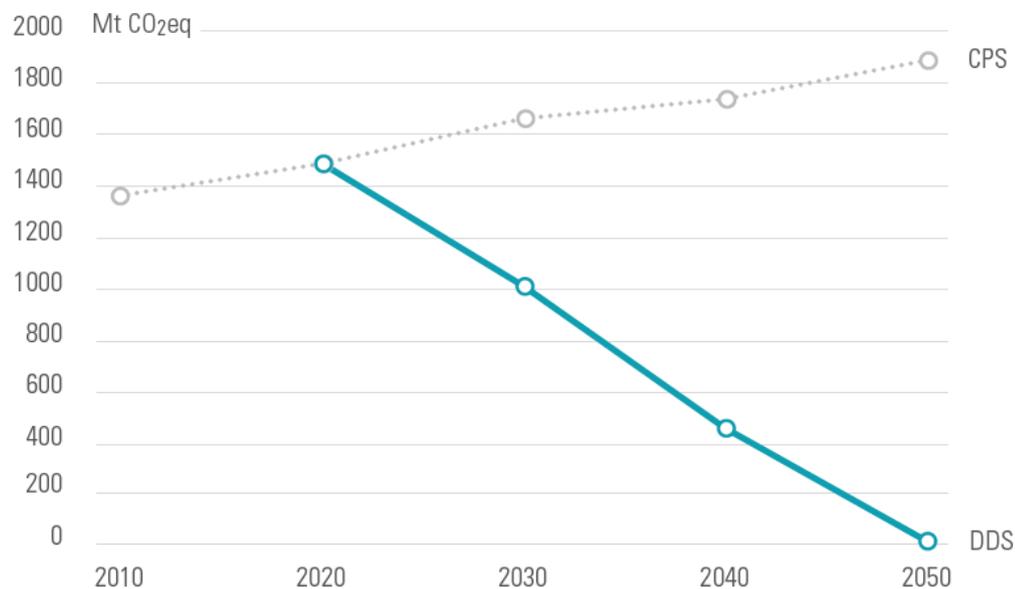


Figura 2. Emissões de GEE sob os cenários de políticas atuais (CPS) e de descarbonização profunda (DDS) (Mt CO₂e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

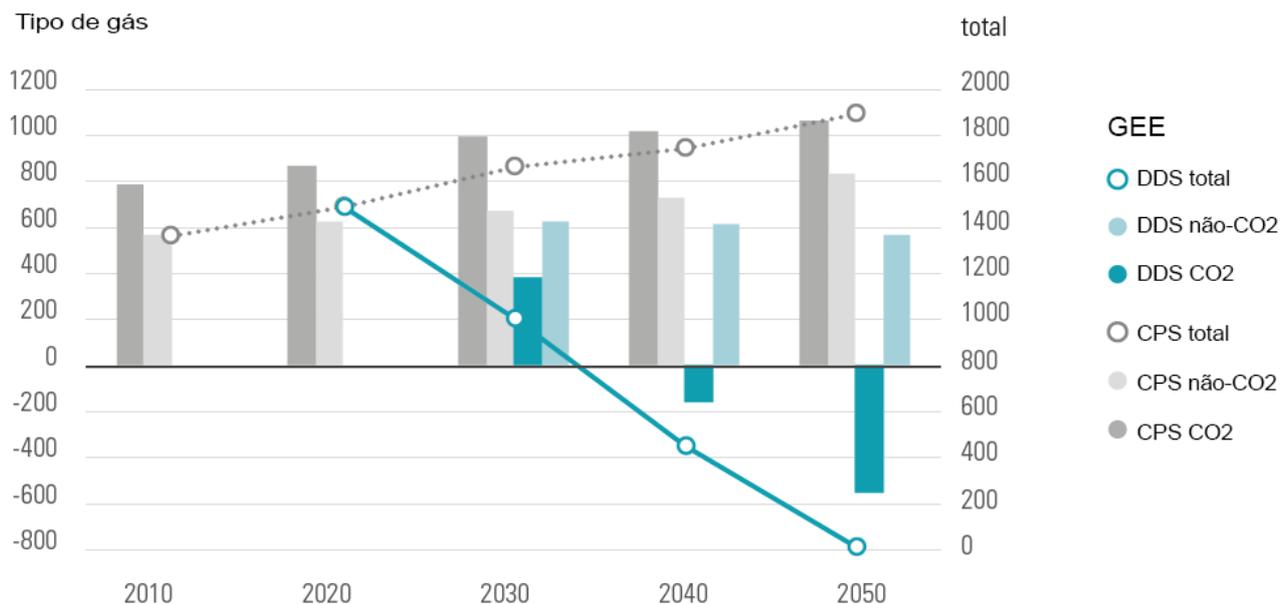


Figura 3. Emissões de GEE, CO₂ e não-CO₂, nos cenários (Mt CO₂e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

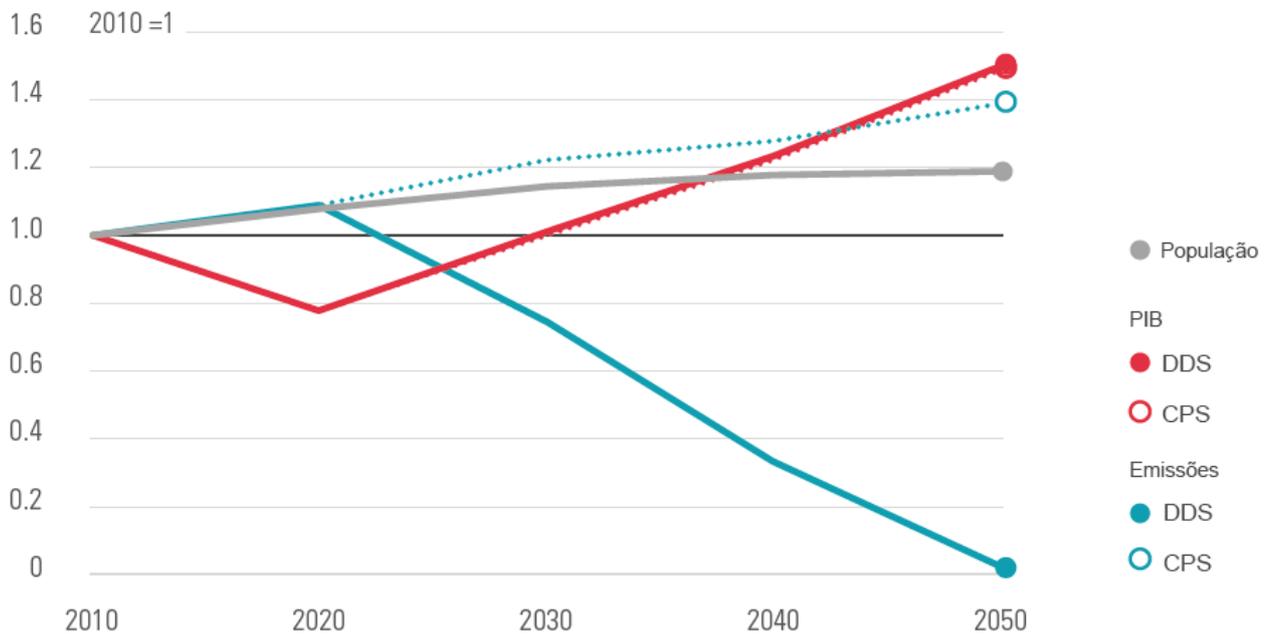


Figura 4. Emissões de GEE x População x PIB (2010 =1)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

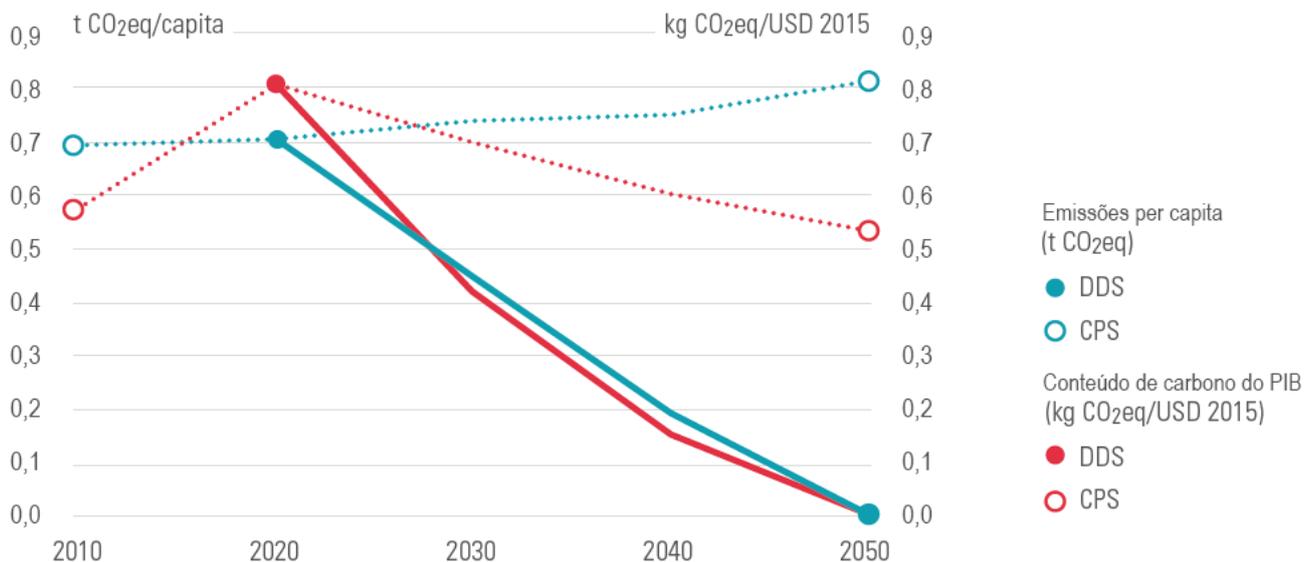


Figura 5. Intensidade de emissões per capita e por PIB

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

Nota: O indicador da direita usa USD de 2015.

5. Visão Geral das Barreiras, Instrumentos Políticos Seleccionados e Oportunidades de Investimento

5.1. Abordagem Metodológica

O processo de elaboração dos planos de mitigação setorial apresentados no presente relatório incluiu vários diálogos multilaterais (organismos governamentais, sector empresarial, comunidade científica e ONGs) para cada sector, cujo *feedback* é incorporado ao longo do desenvolvimento do estudo. Essa interação da equipe técnica com os *stakeholders* contribui para a validação e maior concretude dos resultados, além de ajudar a reduzir as incertezas quanto aos riscos políticos envolvidos nas opções, contribuindo para aumentar a conscientização dos investidores sobre alguns nichos de oportunidades para investir em ações de mitigação no Brasil, foco deste relatório.

As ações de mitigação enfrentam muitas barreiras para atrair investimentos em um país em desenvolvimento como o Brasil. As barreiras mais fundamentais são herdadas do processo histórico que levou à inserção do Brasil na economia global como país periférico. Eles são geralmente conhecidos como os "riscos políticos" do país (instabilidade política; condições macroeconômicas; risco cambial (flutuações da taxa de câmbio); risco de inflação; dívida pública; dívida externa; flutuação das taxas de juros; insegurança legal, entre outros).

O Plano de Mitigação aborda os obstáculos a nível microeconômico, identificando ou desenvolvendo instrumentos e mecanismos financeiros adequados e propostas de alteração de políticas. Diferentes barreiras para as ações de mitigação são encontradas juntamente com as etapas do ciclo de planejamento e implementação, desde a concepção até a redução real das emissões de GEE em comparação com uma linha de base.

A metodologia geral aplicada na elaboração de cada Plano Setorial inclui:

- Revisão de literatura;
- Revisão de estudos de mitigação nacionais anteriores e exercícios de cenários de baixo carbono (La Rovere et al, 2018);¹¹
- Identificação das ações de mitigação mais relevantes em cada setor, com base na identificação e seleção prévias dos principais obstáculos que afetam o seu desempenho e dos instrumentos para superar esses obstáculos;
- Verificação e apresentação do estado atual das ações de mitigação;
- Mapeamento de stakeholders e realização do processo de consulta de especialistas através de telefone, e-mail, reuniões virtuais, roteiros de entrevistas semiestruturadas e estruturadas, diálogos *multistakeholders* organizados pelo Centro Clima no âmbito de projetos sinérgicos (Projeto ACT DDP e Projeto Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030);
- Coleta e tratamento das respostas ao processo de consulta; e

¹¹ La Rovere et al., 2018.

- Detalhamento de oportunidades de investimento pré-selecionadas.

A aplicação deste quadro metodológico baseou-se no julgamento de especialistas da equipe do Centro Clima e na validação dos *stakeholders* consultados. A experiência anterior com a quantificação de diferentes vias de emissão de GEE para cumprir as metas brasileiras no âmbito do Acordo de Paris, com o envolvimento de vários *stakeholders* nas equipes de construção de cenários (SBT- *Scenario Building Team*), foi particularmente valiosa. Em vários estudos realizados desde 2014 (ver <http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/index.php/br/estudos-e-projetos/encerrados>), os cenários de descarbonização profunda foram comparados com os cenários de políticas atuais. A avaliação de desempenho das políticas, planos e programas de mitigação atualmente em andamento foi necessária para projetar cenários de referência de emissões de GEE no futuro. A análise de tendências passadas e atuais tem permitido avaliar a lacuna entre as metas de mitigação e os resultados, indicando a falta de efetividade das atuais ações de mitigação causada por diferentes barreiras à sua implementação. Os principais *stakeholders* já estiveram envolvidos em estudos anteriores do Centro Clima no âmbito das equipes de construção de cenários (SBT) e foram novamente consultados no âmbito deste projeto ao longo de 2020 e 2021, a fim de atualizar a análise e validar a priorização de barreiras – propostas de políticas – oportunidades de investimento de acordo com dois critérios fundamentais: mérito e viabilidade.

A metodologia para uma abordagem orientada para as partes interessadas inclui as seguintes etapas principais:

- Apresentar, discutir, obter *feedback* e validar pressupostos e resultados dos enredos e cenários iniciais elaborados pelo Centro Clima para o Cenário de Políticas Atuais (CPS) e o Cenário de Descarbonização Profunda (DDS);
- Identificar as principais barreiras para materializar o DDS e os instrumentos políticos (tanto de comando e controle quanto econômicos) para superá-los.

Em abril de 2021, realizamos uma série de quatro *webinars* multissetoriais para o projeto ACT DDP que, juntamente com os comentários e sugestões que recebemos dos parceiros do projeto DecarBoost, permitiram um primeiro relatório incorporando os *insights* fornecidos. Os eventos foram:

(i) Cenário Nacional para atingir Emissões de GEE Líquidas Zero até 2050 (100 participantes, em 7 de abril); (ii) O Setor Elétrico (65 participantes, no dia 8 de abril); (iii) A Indústria do Cimento (43 participantes, no dia 13 de abril); e (iv) AFOLU, com foco na cadeia produtiva da carne (31 participantes, no dia 15 de abril). Além disso, outra iniciativa de consulta foi realizada virtualmente para o Projeto Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030 entre julho e outubro de 2021, envolvendo aproximadamente 150 especialistas técnicos e cem lideranças de governos subnacionais, parlamento, organizações da sociedade civil, comunidades, empresas, fundos de investimento, coalizões e associações privadas. Nesses eventos, foram apresentadas e discutidas as principais

barreiras e instrumentos identificados quanto ao conjunto de ações setoriais de mitigação elencadas por meio deste estudo e dos projetos acima mencionados, fornecendo elementos valiosos para o aprofundamento da análise.

Assim, cada Plano Setorial proposto neste documento baseia-se em nossas estimativas modeladas do potencial de mitigação de cada NAMA e na validação de barreiras e instrumentos obtidos de diversos stakeholders.

5.2. Critérios para a Seleção das Ações de Mitigação

As ações de mitigação foram selecionadas entre inúmeras opções identificadas no Cenário de Descarbonização Profunda (DDS) do projeto DDP BIICS. O conjunto de opções é consistente com os objetivos de desenvolvimento do país, pode contribuir para a atual NDC, ou mesmo aumentar sua ambição, e foi corroborado por um extenso grupo de especialistas selecionados. Essas opções estão diretamente associadas a barreiras à sua implementação, mas podem ser superadas com instrumentos adequados. Para restringir e selecionar as ações de mitigação de GEE por setor, a equipe do Centro Clima analisou o conjunto de medidas de mitigação e utilizou os seguintes critérios básicos:

- Viabilidade: aceitabilidade e aspectos operacionais;
- Mérito: potencial de emissões de GEE evitadas, custo de implementação e cobenefícios das ações de mitigação.¹²

5.2.1. Custos de Mitigação

Até 2050, o DDS incluiu 32 ações de mitigação em diferentes setores. Elas foram escolhidas de acordo com seus custos, que foram limitados aos preços do carbono definidos para cada década de modo a garantir uma trajetória de emissões que leve a emissões líquidas zero até 2050. Tais custos são: até 19,0, 34,1 e 49,3 USD/t CO₂e, em 2030, 2040 e 2050, respectivamente. Para ilustrar¹³ melhor a relação entre os custos de mitigação e o potencial de redução, destacamos separadamente nos três algarismos abaixo as principais ações de mitigação (incluindo apenas aquelas que evitam pelo menos 5 MtCO₂e) que contribuem para o abatimento total em cada década. A Figura 6 apresenta a curva de custo de abatimento marginal (MACC) para o primeiro período (2021-2030). A Figura 7 e a Figura 8 apresentam o MACC para as décadas seguintes (2031-2040 e 2041-2050, respectivamente).

¹² Melhoria da qualidade de vida da grande maioria da população graças aos cobenefícios do DDS: serviços ecossistêmicos, menor poluição do ar nas cidades, melhor infraestrutura de saneamento, etc.

¹³ Os valores foram originalmente expressos em USD de 2015, conforme calculado em análises anteriores. O preço do carbono deve ser aplicado no Brasil usando a moeda local (reais) que foi acentuadamente desvalorizada entre 2015 e 2020. Assim, foram aplicados os seguintes ajustes para fazer a conversão adequada dos valores para USD de 2020: Preço do carbono em 2030 = Br\$ 97,70 / t CO₂e na moeda de 2020 = USD 19 / t CO₂e (a 1 USD = Br\$ 5,15 em 2020). Esse valor equivale a Br\$ 78,75/t CO₂e na moeda de 2015 = USD 25/t CO₂e (a 1 USD = Br\$ 3,15 em 2015).

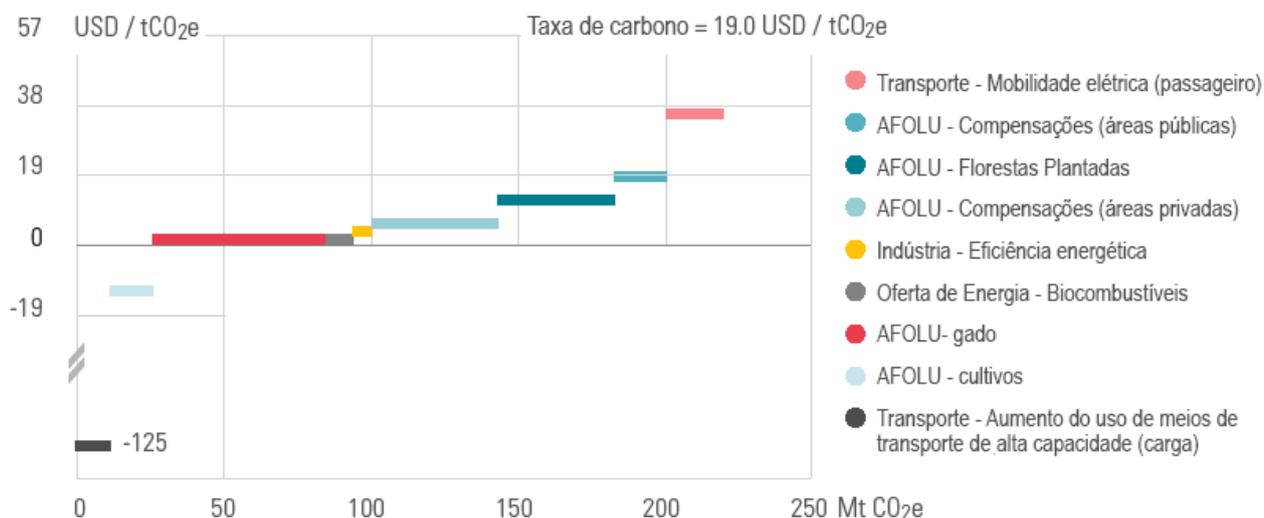


Figura 6. Curva de custo de abatimento marginal 2021-2030 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO_{2e})
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

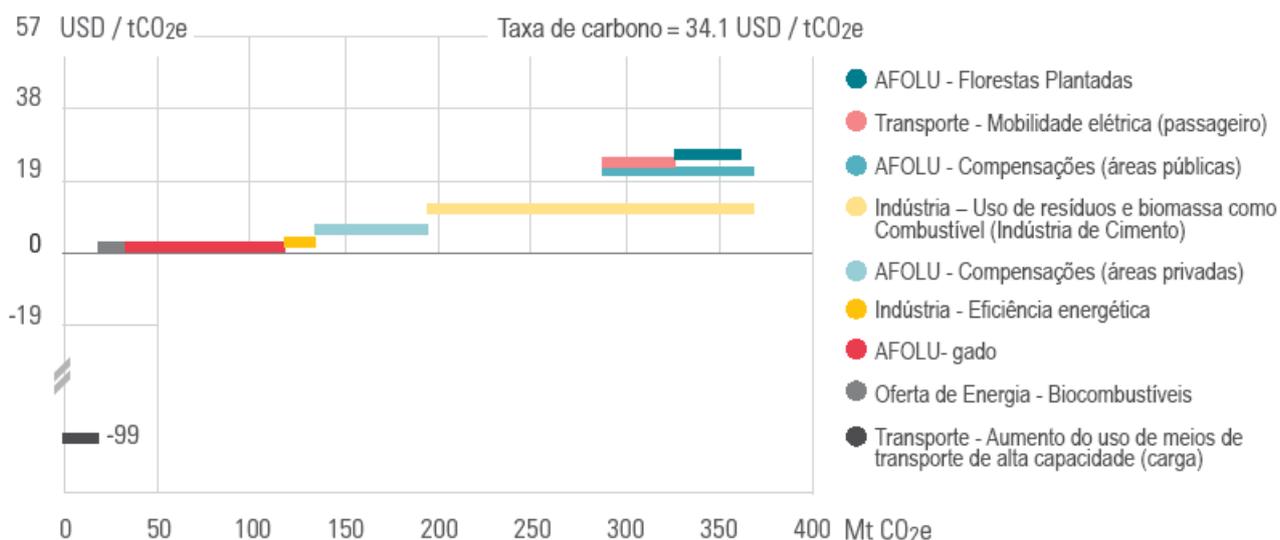


Figura 7. Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO_{2e})
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

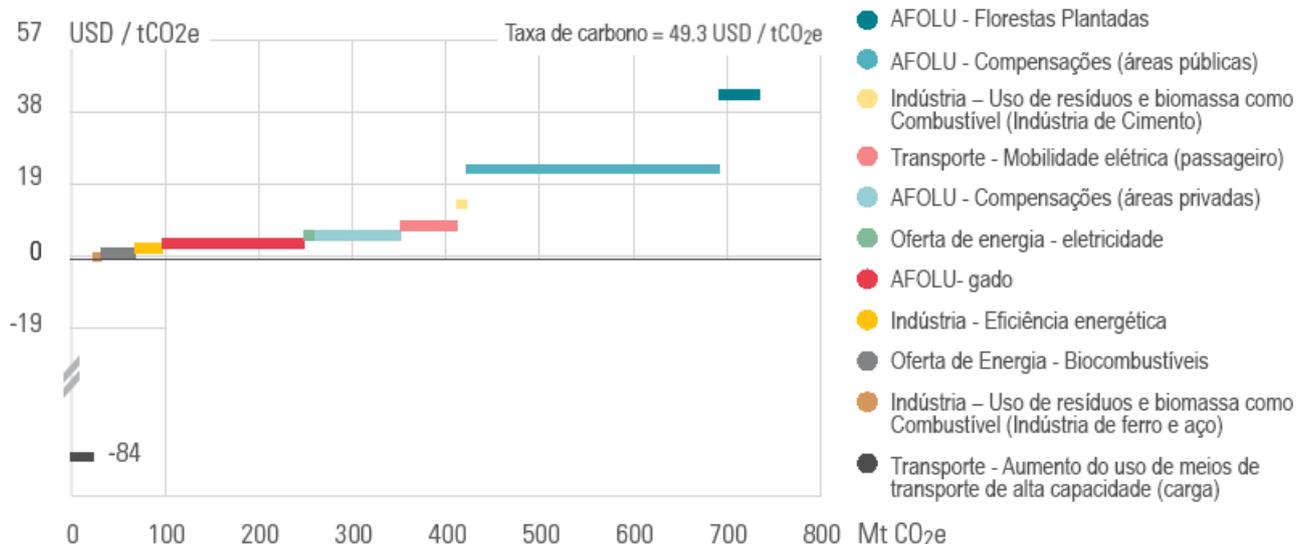


Figura 8. Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO₂e)
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

Os custos das opções de mitigação podem diminuir ao longo das três décadas devido ao aumento das economias de escala e às reduções de custo das novas tecnologias (por exemplo, diminuição dos custos para veículos elétricos e geração de energia renovável). No entanto, um pressuposto subjacente importante no cenário DDS foi o de que ele considerava apenas o uso de tecnologias disponíveis, deixando claro que um enorme potencial de mitigação está disponível a baixos custos no Brasil, mesmo antes da implantação de *breakthroughs* tecnológicos.

5.2.2. Sinergias e Compromissos com os Objetivos Não Climáticos do País

Os padrões de vida no Brasil melhorarão lentamente e a distância para os países desenvolvidos será reduzida até 2050, seguindo a tendência global. Sob o DDS, a reciclagem inteligente das receitas de precificação de carbono reduz as emissões de GEE e as desigualdades sociais. Compensar as famílias pobres pelo aumento dos níveis de preços através de cheques verdes e promover o emprego através da redução dos impostos sobre o trabalho são os principais facilitadores para maximizar a sinergia entre as políticas climáticas e fiscais. Existem várias iterações complexas com os ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), mas as sinergias gerais com o DDS estão resumidas na Tabela 6.

Tabela 6. Sinergias com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)

Sinergia muito alta com os ODS	
13	Ação contra a mudança global do clima (mitigação radical)
07	Energia limpa e acessível (a geração de eletricidade alcança emissões líquidas quase zero)
11	Cidades e comunidades sustentáveis (cidades mais limpas devido ao maior uso de biocombustíveis, veículos elétricos, e aumento do uso de transporte de massa público)

15	Vida terrestre (redução radical do desmatamento e aumento da proteção das florestas)
Sinergia alta com os ODS	
9	Indústria, inovação e infraestrutura (mais inovação e competitividade industrial e maior investimento em infraestrutura de baixo carbono)
17	Parcerias e meios de implementação (maior nível de cooperação internacional)
6	Água potável e saneamento (crescimento mais rápido da infraestrutura de saneamento graças a maiores investimentos destinados à mitigação de emissões)
Sinergia moderada com os ODS	
1	Erradicação da pobreza
2	Fome zero e agricultura sustentável
3	Saúde e bem-estar
8	Trabalho decente e crescimento econômico (PIB per capita e renda disponível das famílias ligeiramente superior; menor taxa de desemprego e novos postos de trabalho nos setores de serviço, transporte, florestas e biocombustíveis)
10	Redução das desigualdades
12	Consumo e produção responsáveis
Neutro em relação aos ODS	
5	Igualdade de gênero
14	Vida na água
16	Paz, justiça e instituições eficazes

Fonte: La Rovere et al (2021)

❖ **AFOLU**

A segurança alimentar global e a conservação da biodiversidade podem ser objetivos complementares e sinérgicos usando práticas agrícolas sustentáveis que protegem, restauram e promovem o uso racional dos ecossistemas, reduzindo as emissões de GEE.

O aumento do uso de práticas agrícolas sustentáveis, como culturas mistas, rotativas e de sucessão, com plantio direto e integração lavoura-pecuária-silvicultura, proporcionam co-benefícios, como otimização e intensificação da ciclagem de nutrientes do solo, maior retenção de água do solo, conservação da biodiversidade e aumento da produtividade agrícola.

Proteger, restaurar e promover o uso sustentável das florestas, incluindo a diversificação e a gestão florestal, previne a desertificação, interrompe/reverte a degradação dos solos e reduz as perdas de biodiversidade. Além disso, o estoque de carbono florestal também contribui para a redução de emissões por meio do uso de produtos de base florestal para substituir recursos não renováveis.

❖ **Transporte**

Além de reduzir as emissões de GEE, a mobilidade elétrica proporciona cobenefícios consideráveis para a saúde, para a segurança energética e para os gastos com a seguridade social da população afetada. Existe uma relação direta entre o orçamento da saúde e a poluição do ar nas cidades, causada principalmente por veículos equipados

com motores de combustão interna. Quanto mais os planejadores urbanos percebem uma redução nas internações hospitalares por problemas respiratórios, bem como de implicações associadas ao elevado ruído de tráfego, mais incentivam o uso de veículos elétricos nas regiões metropolitanas, principalmente motocicletas, ônibus e caminhões leves. A disseminação da mobilidade elétrica acompanha a expansão da oferta de eletricidade e telecomunicações para áreas remotas, levando a um maior controle de tensão na rede secundária. Por fim, a mobilidade elétrica no transporte rodoviário e ferroviário reduz a dependência do óleo diesel, um grande problema no Brasil, especialmente no transporte de carga. Além de ser uma fonte de energia mais cara e poluente, a alta volatilidade dos preços do petróleo bruto e do diesel mineral tem causado instabilidade social, incluindo greves e atos disruptivos, bem como pressões inflacionárias.

❖ **Indústria**

A descarbonização através de uma maior eficiência energética promove a produtividade industrial e a geração de emprego para recursos humanos qualificados na indústria e em toda a sua cadeia de suprimentos. A adoção de processos industriais de baixo carbono e outras inovações aumenta a competitividade e a resiliência. Além disso, a melhoria da eficiência energética e o aumento de combustíveis alternativos reduzem a dependência externa e os riscos associados às flutuações cambiais e nos preços das commodities energéticas, uma vez que as indústrias siderúrgica e cimenteira importam uma parcela significativa de seus combustíveis.

❖ **Oferta de Energia**

A expansão da produção de energia renovável e acessível (com a geração de energia atingindo quase zero emissões líquidas até 2050) promove a geração de emprego, reduz a poluição do ar e da água e melhora o bem estar e a resiliência social em geral. A implantação descentralizada de energia eólica e solar permite o desenvolvimento regional e é uma excelente oportunidade para estimular o crescimento econômico em comunidades distantes. O desenvolvimento da bioenergia em várias formas e para diferentes fins tem muitas sinergias com o desenvolvimento industrial e a proteção ambiental nas áreas rurais. A energia eólica offshore ganha força no Brasil, contando com diversos projetos em fase de licenciamento ambiental. Essa energia contribuirá para a produção do hidrogênio verde.

❖ **Resíduos**

A redução de baixo custo das emissões de GEE disponível qual seja a captura e queima de biogás de aterros incentiva o investimento em saneamento e ajuda a acelerar a construção da infraestrutura necessária para preencher a lacuna histórica no nível de cobertura do serviço. As famílias de baixa renda são as principais beneficiárias dessa expansão do serviço, trazendo benefícios sociais consideráveis. A geração de energia através da incineração controlada de resíduos nas grandes cidades, o uso de combustível derivado de resíduos (RDF) e o biogás como combustível na indústria aumentam a oferta de energia.

6. Requisitos de Investimento e Facilitadores Financeiros

O financiamento climático no Brasil não pode começar a ser discutido a partir do zero, pois o país tem um perfil muito peculiar em relação ao setor financeiro e aos mercados de capitais. O Brasil é bem conhecido por sua baixa taxa de poupança e alto custo de capital, que tem, ao longo dos anos, limitado os investimentos não apenas em projetos de baixo carbono, mas em infraestrutura geral. Aumentar a estabilidade política do país e melhorar os sistemas jurídicos e judiciais ajudará a reduzir riscos como altas taxas de câmbio voláteis e altas taxas de juros e beneficiará o mercado de capitais, fomentando todos os tipos de investimentos no país.

Serão necessários recursos financeiros sem precedentes e um setor financeiro público e privado preocupado com o ambiente para alcançar os objetivos do Acordo de Paris e dos ODS. Os recursos públicos por si só não serão suficientes. O setor financeiro é importante para mobilizar e canalizar os recursos financeiros para investimentos de baixo carbono, resilientes e sustentáveis. Cada vez mais, os proprietários de ativos, gestores de investimentos e bancos veem essa transição como uma oportunidade de negócio e alinham suas estratégias para esse fim.

Apesar do volume crescente de investimentos verdes e sustentáveis, os montantes totais ainda estão longe dos necessários para uma economia sustentável e de baixo carbono. A resolução das questões das mudanças climáticas e do crescimento sustentável é complexa e requer ações coordenadas entre muitos atores. Nos países em desenvolvimento, a superação das barreiras estruturais é fundamental para o desenvolvimento de um setor financeiro sustentável. Essas questões são particularmente relevantes para o Brasil.

Uma análise do setor financeiro brasileiro aponta três conjuntos principais de barreiras que comprometem o desenvolvimento saudável do financiamento climático no país:

- i. A primeira está relacionada ao alto nível de subsídios aos combustíveis fósseis no país: quase R\$ 100 bilhões, correspondendo a aproximadamente 1,4% do PIB do país, em 2019. A maioria destes subsídios deve-se a incentivos e deduções fiscais.
- ii. A segunda principal barreira é a falta de instrumentos financeiros e econômicos para fomentar investimentos de baixo carbono, como os títulos verdes e a implementação de uma política de precificação de carbono no Brasil. As barreiras a isso, de acordo com a revisão da literatura e entrevistas com *stakeholders* são: percepção de riscos mais elevados, falta de oferta e demanda por títulos verdes, baixa atratividade financeira, macroambiente instável, deficiências nos sistemas jurídico e judicial, ambiente político instável, cultura conservadora de investimento e *crowding-out* devido ao crédito subsidiado.
- iii. Por último, mas não menos importante, é também necessário ajustar e propor novas políticas e regulamentos financeiros para facilitar os investimentos em projetos de baixo carbono.

Para o setor financeiro, após uma extensa revisão da literatura e uma fase de consulta a *stakeholders*, foram concentrados esforços em quatro tipos de instrumentos políticos que são fundamentais para desencadear investimentos de baixo carbono no Brasil:

- i) **Redução progressiva e eliminação dos subsídios aos combustíveis fósseis:** no Brasil, os subsídios aos combustíveis fósseis totalizaram quase R\$ 100 bilhões em 2019, correspondendo a aproximadamente 1,4% do PIB do país. O montante total dos subsídios foi igual a três vezes o programa "Bolsa Família", que transfere recursos para famílias extremamente pobres no Brasil, e a cerca de 29 vezes o total de recursos do Ministério do Meio Ambiente do Brasil em 2019. O desafio de dimensionar e alterar os incentivos aos combustíveis fósseis não pode ser negligenciado e é um caminho estratégico para alcançar a redução da produção e do consumo de combustíveis fósseis no Brasil. No entanto, do ponto de vista nacional e geopolítico, lidar com incentivos e subsídios é um enorme desafio. Além das dificuldades metodológicas, do conteúdo técnico e da falta de transparência por parte dos governos, exige, de fato, um debate político sobre a direção do desenvolvimento.
- ii) **Instrumentos Financeiros:** Debêntures verdes ou títulos verdes e debêntures incentivadas são títulos de renda fixa usados para levantar fundos para implementar ou refinar projetos de longo prazo e comprar ativos com preocupação ambiental. Acabam atraindo investidores institucionais, como fundos de pensão e seguradoras. Os países em desenvolvimento enfrentam desafios no avanço de seus mercados de títulos verdes, em grande parte porque essas nações têm economias e mercados de capitais menos desenvolvidas. Esses desafios podem estar relacionados a barreiras estruturais que comprometem o desenvolvimento do mercado de títulos e a obstáculos específicos ao aumento dos fluxos financeiros para setores de baixo carbono. No que diz respeito às barreiras estruturais, de um modo geral, o estudo conclui que as condições que fomentam o desenvolvimento de um mercado de títulos convencionais também contribuem para o desenvolvimento de um mercado de títulos verdes e, por conseguinte, devem ser perseguidas pelo país. Fundos garantidores e instrumentos financeiros de compartilhamento de risco também são iniciativas muito promissoras para acelerar investimentos de baixo carbono em países em desenvolvimento.
- iii) **Precificação do carbono:** Com a precificação do carbono, seja um imposto ou um mercado, a decisão de reduzir as emissões ou pagar o preço do CO₂e emitido é feita pelo agente econômico, que compara o preço do poluente a ser precificado com seu custo marginal de mitigação. O que se espera é que os agentes econômicos com menor custo de controle reduzam mais, pois é mais barato controlar do que pagar o preço. No Brasil, o projeto *Partnership for Market Readiness* (PMR) do Banco Mundial discutiu, simulou e analisou muitas opções de precificação de carbono em conjunto com o Ministério da Economia. O Centro Clima/COPPE/UFRJ foi responsável pelo componente de modelagem e simulou oito diferentes cenários econômicos e de emissão de GEE

até 2030, seis deles com precificação de carbono (Wills et al, 2021). De acordo com os resultados obtidos a partir das simulações, um cenário de precificação ideal no Brasil deve ter as seguintes características: a) aumento gradual de preços para permitir que os agentes se adaptem; b) amplo escopo para reduzir o preço de equilíbrio; c) ajustes fiscais de fronteira pareceram ser mais eficientes do que as opções de *grandparenting*; d) as compensações de reflorestamento florestal nativo são cruciais para o controle do preço do carbono; e) as receitas da precificação do carbono são muito importantes para reduzir os encargos trabalhistas e melhorar a distribuição de renda e reduzir a pobreza. Essas políticas públicas complementares são cruciais para a implementação bem-sucedida da precificação do carbono em um país em desenvolvimento como o Brasil.

- iv) **Políticas e Regulamentos Financeiros:** Políticas e regulamentações financeiras são fundamentais para desencadear investimentos sustentáveis e promover o financiamento climático no Brasil. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é a principal fonte de recursos reembolsáveis para o financiamento climático no Brasil. Atua por meio de importantes fundos ligados à sustentabilidade, como o Fundo Clima (Fundo Nacional de Mudanças Climáticas) e a Linha de Crédito Ambiental. Por meio dos recursos do Fundo Clima, o BNDES apoia a implementação de projetos, a aquisição de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento tecnológico para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. A composição das taxas de juros varia de acordo com a forma de apoio. Pode incluir o custo financeiro, a remuneração do BNDES, a taxa de intermediação financeira, a taxa do agente financeiro e a taxa de risco de crédito. Outros bancos de desenvolvimento, como bancos regionais de desenvolvimento e bancos multilaterais de desenvolvimento, também são fundamentais para promover a aceleração necessária no setor financeiro, a fim de permitir a realização das ambiciosas e desafiadoras metas do Acordo de Paris. O papel do Banco Central do Brasil também é relevante, e já começou a emitir regulamentos sobre a exposição das instituições financeiras a riscos climáticos. A extensão dessas regulamentações para cobrir também os riscos de transição de produtos e instituições financeiras e a criação de uma taxonomia brasileira de investimentos verdes e climáticos certamente serão uma importante contribuição para canalizar recursos financeiros para investimentos de baixo carbono.

Além disso, clubes climáticos e parcerias como as "Parcerias de Transição Energética Justa" (JET-Ps) em andamento com a África do Sul e com a Indonésia também são iniciativas muito promissoras, e estão resumidas abaixo para ilustrar como esse tipo de parceria poderia desencadear investimentos sem precedentes de baixo carbono no Brasil:

- **Parceria de Transição Energética Justa com a África do Sul:** Os governos da África do Sul, França, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos, juntamente com a União Europeia, criaram uma nova Parceria de Transição Energética Justa ambiciosa e de longo prazo para ajudar os esforços de descarbonização da África do Sul. A Parceria visa acelerar a descarbonização da economia da

África do Sul, com foco no setor elétrico. Um investimento inicial de US\$ 8,5 bilhões será feito na primeira fase, usando uma variedade de mecanismos, incluindo subvenções, empréstimos concessionais e investimentos, bem como instrumentos de compartilhamento de riscos. Espera-se que a Parceria reduza até 1-1,5 giga toneladas de CO₂e nas emissões de GEE nos próximos 20 anos e ajude a África do Sul a acelerar sua transição para uma economia de baixa emissão e resiliente ao clima.

- **Parceria de Transição Energética Justa com a Indonésia:** Os governos dos Estados Unidos, Japão, Canadá, Dinamarca, França, Alemanha, Itália, Noruega, Reino Unido e União Europeia anunciaram sua dedicação a metas climáticas inovadoras e financiamento relacionado para ajudar a Indonésia em uma transição energética ambiciosa e justa, consistente com os objetivos do Acordo de Paris e ajudando a manter o limite de aquecimento global de 1,5 °C ao alcance. Inclui uma estratégia baseada no crescimento das energias renováveis, na eliminação progressiva da produção de eletricidade a carvão dentro e fora da rede e em compromissos adicionais em matéria de reformas regulamentares e de eficiência energética. Este plano também inclui um caminho acelerado de redução de emissões do setor de energia para líquido zero até 2050. O objetivo geral dessa cooperação de longo prazo com a Indonésia é mobilizar US\$ 20 bilhões em financiamento público e privado durante um período de três a cinco anos, utilizando uma combinação de subvenções, fundos garantidores, empréstimos a taxas de mercado, garantias e investimentos privados. O caminho para alcançar os ambiciosos objetivos climáticos e energéticos será pavimentado por esta iniciativa. Os países membros levantarão US\$ 10 bilhões, ou metade desse montante. Através do Banco Europeu de Investimento (EIB, sigla em inglês), a UE disponibilizará um bilhão de euros deste montante à Parceria, a fim de financiar projetos qualificados que promovam e integrem as energias renováveis para descarbonizar o sistema energético da Indonésia. Além disso, a UE destinará 25 milhões de dólares em subvenções e assistência técnica.

Uma iniciativa semelhante pode ser desenhada para o Brasil, com base na experiência do Fundo Amazônia (que também pode ser significativamente ampliada em sua próxima fase sob a administração que se iniciou em 2023), permitindo abranger outros setores além do uso da terra (especialmente silvicultura, transporte e resíduos – ver Tabela 7 abaixo).

Em suma, para orientar o país para o caminho da neutralidade climática até meados do século, é necessário conectar a demanda por financiamento climático a instrumentos econômicos e financeiros que ajudem a reorientar as fontes para investimentos em baixo carbono, atualmente direcionadas para a Formação Bruta de Capital Fixo. Um dos principais instrumentos é a implementação de uma política de precificação do carbono, que idealmente deveria ocorrer no âmbito de uma reforma tributária mais ampla, onde várias questões que estão correlacionadas podem ser abordadas como a limitação de subsídios e despesas fiscais a atividades intensivas em carbono e a criação de novos instrumentos financeiros capazes de aumentar a atratividade de investimentos de baixo carbono.

Um mercado de carbono *cap-and-trade* pode cobrir as emissões do setor industrial, garantindo flexibilidade e favorecendo a minimização de custos para reduzir as emissões de GEE.

No entanto, para que o país atinja a neutralidade de emissões em 2050 (NDC brasileira revisada entregue à UNFCCC em abril de 2022), será necessário que o setor AFOLU contribua ativamente, não apenas alcançando taxas líquidas de desmatamento anual zero, mas também fornecendo uma quantidade substancial de remoções de CO₂ por meio da restauração de florestas nativas, e programas de arborização em terras degradadas.

Permitir que a indústria utilize compensações da restauração florestal nativa pode ser uma oportunidade para alavancar investimentos nesse setor-chave no Brasil, levando a restauração de florestas nativas a um novo patamar. Por outro lado, é importante que a utilização de compensações pelo setor industrial se limite a 30% dos objetivos de redução das emissões (de acordo com os resultados do DDS), pelo que as empresas industriais continuam a investir na sua modernização, aumentando a eficiência e, assim, mantendo-se competitivas no mercado internacional ao longo do século.

Para o setor de transportes, uma possibilidade é a utilização de uma taxa inteligente sobre o carbono, que auxilie a Petrobras em sua política de precificação de combustíveis para o mercado interno. Esta taxa consideraria e harmonizaria a volatilidade dos preços do petróleo no mercado internacional, mais a volatilidade da taxa de câmbio, criando um corredor de preços que aumentam ao longo do tempo, a fim de permitir a competitividade dos combustíveis renováveis e as opções de eficiência energética, permitindo uma transição suave, com uma pequena volatilidade, de modo a que os agentes do mercado teriam uma visão clara do comportamento de longo prazo dos preços dos combustíveis.

Essa é uma das muitas maneiras diferentes de implementar uma política de precificação de carbono no Brasil. Com os incentivos econômicos e financeiros adequados, seria possível implementar um plano de investimento ambicioso em consonância com o objetivo de neutralidade das emissões em 2050 e com o Acordo de Paris (ver Parte II do presente relatório).

A Tabela 7 abaixo apresenta os requisitos adicionais de investimento no DDS em comparação com os níveis do CPS nas próximas três décadas por setor (La Rovere et al., 2021).

Tabela 7. Requisitos adicionais de investimento em mitigação no DDS no Brasil em comparação com o CPS, por setor econômico, por década

Investimento setorial (em bilhões de US\$)	2021-2030	2031-2040	2041-2050
AFOLU	3,23	11,08	27,62
Transporte	12,92	29,09	41,41
Indústria	1,81	5,98	11,11
Oferta de energia	0,34	1,32	2,65
Resíduos	-	21,33	30,14
Total	18,31	68,80	112,93

Notas: 1. O investimento adicional na oferta de energia considera a eletricidade e os biocombustíveis. 2. Taxa de câmbio 5,15 R\$/USD (valores de 2020). 3. Valores não descontados.

Fonte: La Rovere et al., 2021.

O investimento adicional em mitigação somaria cerca de US\$ 200 bilhões em um caminho que levaria a emissões de GEE líquidas zero em 2050. Isso representaria apenas um aumento de 0,5% na taxa de investimento (Total de Investimentos/PIB) no DDS em relação ao CPS.

No entanto, as necessidades variam de acordo com os setores. Seriam necessários mais investimentos nos setores dos transportes, resíduos e AFOLU (agricultura, florestas e uso do solo). Os investimentos em energia do CPS não precisam de um alto nível de investimentos adicionais para trilhar um caminho de descarbonização profunda. Tal pode ser explicado por uma parte significativa das emissões evitadas obtidas a custos negativos ou muito baixos e pelo sistema de licitações em vigor para assegurar parcerias público-privadas para financiar a expansão do sistema elétrico.

Um aumento substancial da taxa de investimento não é necessário no DDS (em relação ao CPS), destacando que uma mudança nos padrões de investimento atuais é mais importante do que encontrar recursos adicionais para a descarbonização. Isto demonstra a necessidade de criar instrumentos econômicos e financeiros que possam promover uma forte transição dos investimentos tradicionais para os investimentos de baixo carbono.

7. Referências

- Brasil (2020). Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. CNI/DDIE/ECON/Unidade de Edição. Atualizado em 7 de março de 2022 https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/b0/6f/b06f3ef0-14f3-4497-b1d2-5716d2c95df5/industrvs_importance_in_brazil_march2022.pdf
- Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., La Rovere, E. L., & de Mello Bandeira, R. A. (2020a). MRV framework and prospective scenarios to monitor and ratchet up Brazilian transport mitigation targets. *Climatic Change*, 162(4), 2197-2217.
- Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., de Mello Bandeira, R. A., & Grottera, C. (2020b). Transport-energy-environment modeling and investment requirements from Brazilian commitments. *Renewable Energy*.
- Gonçalves, D.N.S.; Goes, G.V.; D'Agosto, M. de A (2019). Transportes no Brasil – Panorama e Cenários Prospectivos para atendimento da Contribuição Nacionalmente Determinada; Rio de Janeiro, 2019. Available at: <https://ibts.eco.br/relatorios-tecnicos/>. Accessed on 10 December 2020.
- Gonçalves, D.N.S.; Goes, G.V.; D'Agosto, M. de A (2020). Energy transition in Brazil: Paris Agreement compatible scenario for the transport sector up to 2050. *Climate Transparency*. Available at: <https://climate-transparency.org/>. Accessed on 01 January 2022.
- La Rovere, Emilio L.; Wills, William; Grottera, Carolina; Dubeux, Carolina B. S.; Gesteira, Claudio. Economic and social implications of low-emission development pathways in Brazil. *Carbon Management JCR*, v. 9, p. 563-574, 2018.
- Unterstell, La Rovere, Ana Paula Prates, Berta Pinheiro, Bruna Guimarães, Carolina Burle Schmidt Dubeux, Clara de Queiroz, Claudio Gesteira, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Emilio La Rovere, Erika Carvalho Nogueira, Fernanda Westin, George Vasconcelos Goes, Giovanna Cavalcanti de Carvalho, Giovanna Napolini, Isabela Cristina de Araújo Lima, Márcio de Almeida D'Agosto, Marina Caetano, Michele K. Cotta Walter, Natalie Unterstell, Nathalia Martins, Olivia Ainbinder, Otto Hebeda, Saulo Machado Loureiro, Sergio Henrique F. Cunha, Taciana Stec, Walter Figueiredo De Simoni e William Wills, 2021. *Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030*. Disponível em <https://www.institutotalanoa.org/documentos>
- Wills, W.; La Rovere, Emilio Lèbre; Grottera, C.; Napolini, G. F.; Le Treut, G.; Gherzi, F.; Lefevre, J.; Dubeux, C. B. S.. Economic and social effectiveness of carbon pricing schemes to meet Brazilian NDC targets. *CLIMATE POLICY JCR*, v. 22, p. 48-63, 2021.

Parte II.

PROPOSTA DE PRECIFICAÇÃO DE CARBONO NO BRASIL¹⁴: UMA CONDIÇÃO NECESSÁRIA PARA A TRANSIÇÃO

Autor: William Wills

¹⁴ Este documento foi produzido originalmente para a Iniciativa Clima e Desenvolvimento, e se baseou no aprendizado trazido pelo Projeto PMR Brasil, em especial nos produtos do Componente 1 (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018) e no Componente 2A (La Rovere, Wills et al, 2020).

1. Introdução

Este relatório apresenta uma proposta preliminar de como deveria ser uma política de precificação de carbono no Brasil, com base em uma revisão da literatura, consultas a stakeholders, e de resultados e aprendizados trazidos por diversos projetos relacionados à precificação de carbono no Brasil, especialmente nas contribuições do Componente 1 do projeto PMR Brasil (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018) e do Componente 2A (La Rovere, Wills et al 2020) e a Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2021).

A precificação do carbono vem desempenhando um papel importante no incentivo às ações de baixo carbono e internalizando o custo das emissões de GEE. Segundo o estudo State and Trends of Carbon Pricing 2021 (WORLD BANK, ECOFYS & VIVID ECONOMICS, 2021), atualmente existem 64 instrumentos de precificação de carbono em operação e três previstos para implementação em 2021. Em 2021, 21,5% das emissões globais de GEE estão cobertas por instrumentos de precificação de carbono em operação, o que representa um aumento significativo em relação a 2020, quando apenas 15,1% as emissões globais foram cobertas. Este aumento é em grande parte devido ao lançamento do ETS nacional da China.

Devido as suas características territoriais, o Brasil possui um sistema energético com grande participação de renováveis e tem diversas opções de mitigação de GEE a baixos custos, em especial no setor florestal. Assim, o país encontra-se em uma situação privilegiada em relação ao resto do mundo para promover a redução de emissões e para a geração de créditos de carbono. Entretanto, para capitalizar essa vantagem, é necessário que tenhamos uma política climática forte e bem planejada, o que passa pela introdução da precificação de carbono no país.

2. Premissas Básicas

Em geral, os especialistas acreditam que a maneira mais econômica de reduzir as emissões de GEE é usar instrumentos de política de precificação de carbono. Os mecanismos de precificação de carbono se dividem em três categorias principais: esquemas de comércio de emissões (ETS), imposto de carbono ou mecanismo híbrido, que combina elementos de ambos os instrumentos anteriores. A principal diferença entre um ETS e um imposto de carbono é que o primeiro estabelece um limite de quantidade para as emissões permitidas, e o preço do carbono é indiretamente derivado da interação entre oferta e demanda de unidades de licença de emissão, enquanto o último estabelece um preço direto sobre emissões ou teor de carbono a serem pagos.

Nesta proposta, foram considerados os seguintes princípios e premissas gerais, que devem enquadrar o desenvolvimento da política de precificação de carbono no Brasil:

- Consistência com os princípios, conceitos e obrigações da UNFCCC e do Acordo de Paris;
- Coerência com os princípios aplicáveis ao artigo 6º do Acordo de Paris, em particular os princípios de integridade ambiental e prevenção de dupla contagem, e outros princípios relacionados com a contabilização das reduções de emissões de GEE e a transparência do seu relato;

- Possibilidade de sinergias desta política de precificação de carbono com instrumentos de mercado previstos no artigo 6º do Acordo de Paris, bem como com outros mercados setoriais fora da UNFCCC;

Esta proposta é baseada nas discussões e resultados do projeto PMR Brasil (La Rovere et al, 2020), bem como de outros projetos nos quais o Centro Clima tem tido um papel importante, como a Iniciativa Clima e Desenvolvimento, o DDP-BIICS (La Rovere et al, 2021) e o projeto Decarboost (La Rovere et al, 2022), sempre envolvendo a consulta e participação de stakeholders. O projeto de lei em tramitação no Congresso e o decreto presidencial também serviram de base para as análises aqui desenvolvidas.

3. Custo-Efetividade do Instrumentos de Precificação

Os custos marginais de mitigação dependem das opções tecnológicas disponíveis (curva de custo marginal de abatimento) e do lucro da produção ou da utilidade marginal do consumo que se perde para reduzir as emissões.

Com uma política de precificação de carbono, seja tributária ou de mercado, a decisão de reduzir as emissões ou pagar o preço de emissão é tomada pelo agente econômico da fonte regulada, que compara o preço do poluente precificado com seu custo marginal de mitigação. Assim, o agente regulado opta pela forma mais barata de cumprir a regulação, seja por:

- redução de emissões por meio da adoção de práticas diferentes de produção ou consumo, seja de insumos, processos, equipamentos ou produtos menos emissores;
- redução absoluta do consumo ou da produção; e
- sem redução de emissões e pagamento do preço.

Assim, é possível atingir uma meta de redução de forma socialmente mais barata, pois as oportunidades de minimização de custos são criadas com a liberdade de escolha tecnológica aliada à decisão de pagar (ou não) de acordo com custos e metas de controle, de produção e expansão de cada agente poluidor. Espera-se que os agentes econômicos com o menor custo de controle reduzam mais porque é mais barato controlar do que pagar o preço.

A relação custo-benefício dos instrumentos de precificação econômica permite que os impactos econômicos sejam minimizados, mas estes não podem desaparecer, pois refletem a necessidade de ajustes na economia para atingir uma meta de controle de emissões. Portanto, os impactos podem ser considerados negativos de acordo com sua incidência para cada setor ou grupo de consumidores, mas no conjunto são socialmente desejáveis. Sem eles, não há ajustes na produção e no consumo para seguir um caminho de baixo carbono.

4. Instrumentos de Precificação de Carbono

Os mecanismos de precificação de carbono se dividem em três categorias principais: esquemas de comércio de emissões (ETS), imposto de carbono (ou taxa de carbono), ou mecanismo híbrido, que combina elementos de ambos os instrumentos anteriores. A principal diferença entre um ETS e um imposto de carbono é que o primeiro

estabelece um limite de quantidade para as emissões permitidas, e o preço do carbono é indiretamente derivado da interação entre oferta e demanda de unidades de licença de emissão, enquanto o último estabelece um preço direto sobre emissões ou teor de carbono a ser pago, enquanto a quantidade total de emissões é definida indiretamente.

4.1. Mercado de Carbono

Aprofundando a dinâmica dos instrumentos, um ETS opera no formato *cap-and-trade*, ou seja, é estabelecido um padrão/limite de emissões (cap) e dividido em licenças, o que confere ao agente o “direito” para poluir, e então ocorre a compra/venda dessas licenças (comércio). O método de atribuição de licenças pode ser distribuído gratuitamente – através de direitos adquiridos ou benchmarking, leilado ou regulado por uma combinação dos dois métodos.

4.2. Taxa de Carbono

A taxa de carbono, por outro lado, funciona de forma mais direta na precificação do carbono, pois estabelece o preço a ser pago no uso de combustíveis fósseis ou na realização de outras atividades emissoras, proporcionalmente a suas emissões de GEE. Os impostos de carbono permitem a geração de receitas tributárias, gerando oportunidades de dividendos duplos, econômicos e ambientais, e o mesmo ocorre na situação de um ETS com leilão das licenças.

4.3. Mecanismo Híbrido

O mecanismo híbrido foi proposto no projeto PMR Brasil (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018) e testado pelo Centro Clima no projeto PMR Brasil (La Rovere et al, 2020), para criar uma política de precificação de carbono que reunisse as características mais positivas do mercado e do imposto de carbono. A aplicação do imposto ou do mercado sobre um setor econômico específico pode variar de acordo com diversas características, como por exemplo o perfil de emissões do setor, a estrutura produtiva e de distribuição dos bens produzidos, da curva de custo marginal de abatimento, dos custos de transação etc.

Em geral, um mercado de carbono é recomendado para o setor industrial, pois dá flexibilidade ao setor produtivo e permite que apenas os maiores emissores (sugestão de limiar de 25 kt CO₂e/ano) estejam sujeitos à obrigação de redução de emissões. Já no setor de transportes, onde as emissões são muito dispersas, mas no total representam uma fração importante das emissões do uso de energia no Brasil, o ideal é a aplicação de uma taxa de carbono sobre os combustíveis fósseis.

Essa configuração híbrida da política de precificação de carbono, portanto, parece ser a mais adequada para ser implementada no Brasil.

No Brasil, a taxa de carbono sobre os combustíveis fósseis poderia ser utilizada em conjunto com a política de preços da PETROBRAS, de forma a reduzir a volatilidade dos preços do petróleo e seus derivados no país, mas garantindo que seus preços seguissem uma trajetória pré-estabelecida pela política climática a fim de se atingir com

sucesso as metas da NDC e os objetivos do Acordo de Paris. Isto já é feito no mercado de carbono europeu e na Califórnia (Margulis et al, 2020).

Além disso, as simulações realizadas pelo Centro Clima para o projeto PMR chegaram ao resultado de que um preço sombra seria a melhor alternativa para o setor elétrico uma vez que os agentes do setor não têm liberdade para decidir quando e quanto produzir de energia, já que são regulados pelo ONS. O preço sombra aplicado tanto sobre a expansão quanto sobre a operação do sistema garantiria que o preço da energia elétrica não aumentaria devido à política de precificação de carbono, ao mesmo tempo em que favoreceria a entrada das fontes de energia menos intensivas em carbono no sistema interligado nacional.

5. Elementos de Desenho

Nesta seção, serão apresentados alguns elementos de design que são transversais aos sistemas de preços e que constituem um conjunto de escolhas essenciais para a implementação destes sistemas.

5.1. Setores Regulados

A precificação do carbono deve ser o mais horizontal possível, envolvendo a maioria dos setores produtivos. De acordo com a experiência trazida pelas simulações no projeto PMR, a precificação do carbono deve ser aplicada a todas as emissões de GEE do consumo de combustíveis fósseis e IPPU. Isso inclui todos os setores industriais, setor de energia, transporte, serviços, residências, etc. O uso de combustíveis fósseis pelo setor agrícola também estaria sob o esquema de precificação do carbono. As isenções para determinados setores ou atores aumentam o preço do carbono e o custo total para atingir qualquer meta de emissão. AFOLU e o setor de resíduos não estariam sob o esquema de precificação de carbono, mas o primeiro poderia contribuir para um mercado de carbono fornecendo compensações (isso será discutido mais adiante neste documento).

5.2. Período de Compromisso

A política de precificação do carbono deve ser desenhada para ajudar o Brasil a cumprir seus compromissos no Acordo de Paris. Assim, os períodos de compromisso devem, idealmente, ser compatíveis com os objetivos da NDC brasileira. O ano de 2025 é um ano politicamente importante, onde o primeiro período de compromisso da NDC brasileira se encerra, já no novo governo.

Assim, é sugerido que o período 2023-2025 seja o primeiro período de compromisso, e serviria essencialmente como aprendizado para os diferentes atores. Já o período 2026-2030 seria o primeiro período em que a precificação de carbono incidiria de forma mais contundente, buscando efetivamente auxiliar no alcance da meta da NDC para 2030 uma vez que os diferentes atores já estariam mais preparados, e o arranjo institucional no Brasil mais maduro.

5.3. Níveis de Preço

A maioria dos estudos de modelagem econômica dos impactos da precificação do carbono na economia brasileira indica que um preço do carbono em torno de US\$ 10/t CO₂e em 2030 (USD 2015) permitiria ao Brasil cumprir suas metas de NDC até 2030, gerando efeitos macroeconômicos insignificantes, especialmente quando as receitas de carbono são recicladas de volta à economia, garantindo a neutralidade fiscal. No entanto, para alcançar a neutralidade de carbono até 2050, a transição precisa começar mais forte para evitar aprisionamentos intensivos em carbono (*lock-ins*). Como resultado, neste cenário, o preço do carbono estaria em torno de US\$ 25/t CO₂e em 2030 (USD 2015). Os níveis de preços serão apresentados com mais detalhes no Anexo 1.

5.4. Mecanismos de Controle de Preço

O preço do carbono em um mercado de carbono depende de diversas variáveis, como o custo de mitigação, a ambição das metas de redução, o preço do petróleo, a taxa de câmbio e outros fatores, como incertezas e especulação dos agentes financeiros. É desejável que haja mecanismos de controle de preços que permitam seguir uma trajetória relativamente bem-comportada para que a volatilidade excessiva dos preços não prejudique o bom funcionamento do mercado de carbono.

As medidas de estabilização de preços em abordagens de mercado podem incluir:

- Alocação adicional de direitos de reserva específica para este fim;
- A redução ou ampliação dos mecanismos bancários, de empréstimos e de compensação (*banking, borrowing, offsets, etc*); e
- O estabelecimento de preços teto e/ou preço mínimo.

Há também a possibilidade de que esse mecanismo de controle de preços contribua também para reduzir a volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis através da implementação de uma taxa de carbono variável, com contribuição da Petrobras através de sua política de preços. Assim, essa taxa de carbono seria ajustada periodicamente, em conjunto com os ajustes de preços praticados pela Petrobras, de modo que a trajetória de preços do petróleo e seus derivados no Brasil caminhasse dentro de um corredor de preços alinhado com a política de precificação de carbono em vigor no país. De um modo geral, quando o preço do petróleo e de seus derivados estiver muito alto no mercado internacional, a taxa de carbono pode ser menor, e vice-versa, pois o que importa é sinalizar aos agentes econômicos a atratividade de opções que evitem o uso de combustíveis fósseis.

5.5. Mecanismos para Proteger a Competitividade

A literatura econômica indica que o “Ajuste de Fronteira” é uma das formas de se proteger a competitividade das empresas dos setores produtivos do país frente a importações. O ajuste de fronteira consiste em adotar uma isonomia do tratamento de produtos nacionais e importados, através da mesma incidência do

imposto ou a necessidade de direitos de emissão sobre as importações que concorrem com a produção nacional dos setores regulados.

Outra possibilidade é reduzir a base tributária do imposto sobre o carbono ou alocar direitos de emissão livre a setores expostos ao comércio internacional. A base tributável pode ser reduzida com os mesmos critérios que a atribuição favorável quando parte das emissões geradas em vez de ter direitos de emissão livre é deduzida da base tributável.

A literatura reconhece que os ajustes de fronteira podem ser mais eficientes porque as alocações gratuitas ou reduções da base tributária exigem parâmetros que acabam sendo negociados para uma compensação excessiva. Por outro lado, devido à possibilidade de ocultar objetivos protecionistas puramente comerciais que afetariam em maior medida os países menos desenvolvidos, o mecanismo de ajuste de fronteira ainda não está isento de controvérsias na Convenção do Clima e na Organização Mundial do Comércio.

No caso da adoção de redução da base tributária ou alocação favorável de direitos de emissão, é importante identificar os setores econômicos em risco de competitividade, que geralmente são aqueles intensivos em emissões e expostos ao comércio internacional. Essa decomposição geralmente combina indicadores de intensidade de carbono, custo adicional de mitigação e exposição do setor ao comércio internacional. (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018). Essa abordagem tem sido utilizada no mercado de carbono europeu desde a sua primeira fase, que começou em 2005.

No caso da adoção do ajuste de fronteira, não seria necessária a identificação dos setores de risco, pois seria aplicado proporcionalmente em todos os setores da economia que estivessem sob a política de precificação de carbono (de acordo com a intensidade de emissão de cada setor).

Uma das conclusões do projeto PMR é que o ajuste de fronteiras traz ganhos econômicos para o país e para o setor industrial, pois oferece proteção sob medida, calculada especificamente para cada setor econômico.

5.6. Offsets

Os offsets são créditos relacionados a determinados valores de redução de emissões obtidos por setores não regulamentados, ou seja, em setores não contemplados pelo mecanismo de precificação.

Para evitar que os preços do carbono caiam muito, prejudicando o incentivo à descarbonização de setores regulados e à inovação tecnológica setorial, e para minimizar possíveis efeitos de vazamento, a maioria das jurisdições introduz limites ao seu uso por uma entidade regulada e, às vezes, também, no total agregado. Na maioria dos casos, esse limite é de 20% em abordagens de mercado.

Para o caso brasileiro, dada a ampla disponibilidade de offsets nacionais, não é sugerida a utilização de offsets internacionais. Essas oportunidades nacionais de compensação seriam usadas tanto no caso da tributação quanto nos sistemas de mercado. Assim, os agentes regulados poderiam abater as reduções de emissões equivalentes da compra dessas compensações.

No projeto PMR, os resultados das simulações mostram que os cenários de política de precificação de carbono aproveitam o uso de offsets florestais para reduzir o custo econômico total da mitigação, onde o investimento evitado em medidas de mitigação mais dispendiosas é da ordem de 32 bilhões de dólares de 2021 a 2030. Os esquemas de precificação de carbono incentivam o uso de offsets da restauração de vegetação nativa pelos setores produtivos e tiveram um impacto importante nos resultados socioeconômicos e de mitigação do estudo. Com um custo pouco abaixo de 10 USD/t CO₂e até 2030, os offsets acabaram sendo a medida marginal de mitigação em todos os cenários de precificação de carbono, equiparando assim os custos marginais de abatimento entre os setores nesse nível. Embora os custos dos offsets aumentem progressivamente, outros estudos mostraram que eles continuarão sendo um ativo e uma opção chave para permitir que o Brasil siga um caminho de descarbonização radical até 2050 e alcance a meta recentemente anunciada de neutralidade climática em 2050.

Assim, o uso de offsets reduz os custos gerais de mitigação, atenua em parte o efeito recessivo do preço do carbono e, portanto, ajuda a impulsionar um nível mais alto de desempenho econômico, medido pelo PIB.

Em estudo publicado em 2021 (DDP-BIICS - La Rovere et al, 2021), o potencial utilizado de “offsets” de restauração de vegetação de nativa seria de 238 Mt CO₂e entre 2021 e 2030, enquanto na década de 2041 a 2050 o potencial utilizado chegaria a 572 Mt CO₂e, evidenciando a importância dos offsets florestais na meta brasileira de neutralização de suas emissões até meados do século. Por isso, sugere-se que no caso especial do Brasil os offsets possam chegar até 30% do esforço de mitigação da indústria. Por exemplo, no caso do estudo para a Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2021), as emissões acumuladas do setor industrial de 2021 a 2030 seriam de 1815 Mt CO₂e no Cenário de Referência (REF) e de 1618 Mt CO₂e no Cenário de Mitigação Adicional (CMA). Desta redução total de 196 Mt CO₂e, 139 Mt CO₂e (71%) seriam provenientes de ações de mitigação de emissões dentro do próprio setor industrial, enquanto 57 Mt CO₂e (29%) seriam compensadas por projetos florestais.

5.7. Penalidades

As penalidades por não cumprir as metas podem ser, por exemplo:

- Obrigação de comprar o número de unidades de redução não cumpridas vezes um fator de penalidade maior que 1;
- Pagamento de multa estimada pelo número de unidades de redução não realizadas vezes um valor fixo por unidade superior ao preço de mercado;
- Pagamento de multa de valor fixo independentemente do valor não cumprido;
- Abertura de processo penal com prisão;
- Pagamento de multa e processo criminal por falsificação de informações relativas às emissões anuais.

5.8. MRV

Ter um sistema de MRV (medição, relato e verificação) robusto é fundamental para um bom funcionamento da política de precificação de carbono.

Como o número de empresas é muito grande – mais de 300.000 empresas espalhadas por mais de 700.000 estabelecimentos – a medição e monitoramento das emissões em todas elas resultaria em custos administrativos muito elevados tanto para o regulador quanto para aquelas com menor capacidade gerencial. Para evitar custos administrativos excessivos de MRV das entidades reguladas, são adotados limites mínimos para participação na política de precificação de carbono, a fim de reduzir o número de entidades reguladas.

Para o Brasil, um limite mínimo de 25 kt CO₂e/ano foi sugerido pelo projeto PMR Brasil (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018). Um limiar menor no caso brasileiro poderia prejudicar a competitividade de estabelecimentos menores no país.

Parte significativa das grandes empresas brasileiras monitora, reporta e verifica suas emissões de GEE voluntariamente em plataformas como o Programa Brasileiro GHG Protocol e o CDP Climate Change, e também há relatórios para sistemas estaduais obrigatórios ou voluntários. Essa experiência de MRV será importante para a padronização das regras de contabilidade e relato de um instrumento brasileiro de precificação de carbono.

Deve ser criada uma base de dados nacional de fatores de emissão padrão, que garanta a uniformidade dos fatores de emissão utilizados nos cálculos para que a base seja a mesma para todos. Fatores de emissão específicos devem ser homologados pelo órgão competente. Idealmente, o sistema MRV deve ser introduzido antes do sistema de mercado, para coletar dados que ajudem a calcular de forma realista o cumprimento das metas. Para os procedimentos de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV), inicialmente é sugerido um relatório anual para todos os agentes regulados com verificação de terceiros.

Nas abordagens de mercado, existe a possibilidade de integrar o mercado nacional de emissões com o de outros países. Como resultado, o cumprimento das metas de controle pode ser alcançado por meio da compra e venda de direitos emitidos em jurisdições fora do país na forma de unidades negociáveis. Essa possibilidade de unidades negociáveis internacionalmente pode ser adotada mesmo no caso de regime de tributação quando a base de cálculo das emissões da entidade regulada é ajustada de acordo com os direitos adquiridos internacionalmente. O Artigo 6 do Acordo de Paris aborda diretamente as disposições desses mecanismos de mercado entre países na implementação do acordo. Um sistema de MRV robusto é, portanto, altamente desejável (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018).

6. Uso das Receitas

Os pagamentos de impostos sobre o carbono e/ou leilões de licenças de emissão de um mercado de carbono geram transferências de receita para as administrações públicas e tornam-se componentes da receita do orçamento público. A literatura econômica geralmente considera três tipos de uso desses novos recursos econômicos no orçamento público: 1) redução do déficit e da dívida pública; 2) transferências para os agentes

econômicos; e 3) redução de outros impostos existentes. Na prática, parte das receitas de carbono pode ser alocada para usos mais específicos, como apoiar o desenvolvimento de tecnologias renováveis por meio de subsídio dedicado ou ajudar “perdedores” específicos da transição energética. No geral, a questão política geral fundamental é sobre como projetar o uso das receitas de carbono para abordar diferentes metas políticas simultaneamente (além da meta climática), incluindo otimizar a eficiência econômica da reforma fiscal de carbono, reduzir a dívida pública, reduzir as desigualdades e a pobreza e qualquer outro objetivo mais específico: assegurar a competitividade da indústria, reduzir a pobreza energética, desenvolver tecnologias renováveis (como é o caso do RENOVABIO, que reverte suas receitas para os produtores de combustíveis renováveis), etc.

Em condições específicas, a reciclagem das receitas de carbono na redução da alíquota de certos impostos torna possível gerar um benefício econômico. A hipótese do duplo dividendo traz especialmente muita atração política, pois o benefício econômico pode ser alcançado conjuntamente com o benefício climático. Uma condição necessária para o duplo dividendo é que o sistema tributário inicial deve ser ineficiente em alguma dimensão, e a reforma tributária fiscalmente neutra pode reduzir essa ineficiência. Os casos práticos incluem tributação ineficiente do trabalho e do capital, mercado de trabalho informal e uma tributação baixa da renda do trabalho informal.

Entretanto, o duplo dividendo e a eficiência macroeconômica da política climática são apenas um aspecto da análise política dentro de uma abordagem multiobjetivo mais ampla. A aceitação política desse instrumento de precificação é fundamental, e convulsões sociais e crises políticas reafirmam o papel essencial de políticas complementares para garantir o sucesso de qualquer esquema de precificação de carbono (Stiglitz&Stern, 2017).

O modelo IMACLIM-BR (Wills, 2013; Lefèvre, 2016; Wills et al, 2021), utilizado na modelagem do projeto PMR e na Iniciativa Clima e Desenvolvimento, distingue um conjunto de impostos diretos pagos pelos setores de produção (impostos sobre a folha de pagamento e produção) e consumidores (imposto sobre vendas) e um conjunto de impostos indiretos pagos por setores institucionais (imposto sobre as sociedades pago pelas empresas e imposto sobre o rendimento pago pelas famílias), e assim, consegue simular políticas de reciclagem das receitas bastante específicas, buscando obter essas condições de duplo dividendo.

Os estudos citados acima testaram diferentes configurações da reciclagem das receitas de carbono e são unânimes em afirmar a importância da preservação da neutralidade fiscal da política de precificação de carbono – Todos os recursos arrecadados pelo governo devem ser devolvidos à sociedade de forma que a carga fiscal, já elevada no país, não aumente ainda mais. Esses recursos, se utilizados corretamente (reduzindo distorções ou ineficiências do sistema econômico e fiscal), podem auxiliar no alcance de um duplo dividendo: Redução das emissões aliada a um maior crescimento econômico.

Considerando-se a hipótese de neutralidade fiscal, há ainda diversas formas de reciclar os recursos de volta à economia. As mais promissoras são:

- i. Redução de encargos trabalhistas, e assim aumentar o incentivo a novas contratações, o que aquece o mercado de trabalho e combate o efeito recessivo da precificação de carbono.
- ii. Transferências para as famílias mais pobres (em situação de extrema pobreza), e assim garantir que o seu poder de compra não seja afetado pela política de precificação de carbono ao mesmo tempo

em que reduz as desigualdades no país em relação à situação sem a política de precificação de carbono.

- iii. Uma reciclagem híbrida, onde as receitas da precificação são divididas entre as duas finalidades apontadas acima. Essa reciclagem híbrida foi a utilizada nas simulações da Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2021). Nessa simulação, utilizou-se as receitas para reposição do poder de compra das famílias mais pobres (em situação de extrema pobreza no ano base), de modo que o aumento de preços fosse compensado completamente por transferências diretas do governo utilizando as receitas de carbono. O restante dos recursos foi utilizado para a redução de encargos trabalhistas.

A reciclagem híbrida parece oferecer o melhor custo-benefício em termos políticos, econômicos, sociais e de aceitação da política de precificação de carbono pela sociedade.

7. Ajustes nos Instrumentos Setoriais

As políticas e programas setoriais oferecem instrumentos de reserva de mercado, subsídios e padrões tecnológicos com o objetivo de estimular a expansão do produto setorial brasileiro. Esses instrumentos, quando direcionados à expansão de setores e atividades com alta intensidade de emissões, geram efeito contrário ao da precificação do carbono.

Por outro lado, os instrumentos direcionados a produtos e atividades de baixo carbono também podem ter conflitos de sobreposição de objetivos ou metas com a política de precificação de carbono. Nesses casos, eles podem exigir ajustes para evitar custos adicionais para atingir as metas de mitigação.

O projeto PMR identificou diversos instrumentos setoriais que necessitariam de ajuste no caso da implementação da precificação de carbono no Brasil, e sugeriu diferentes formas de ajuste. Dentre os instrumentos setoriais que necessitariam de ajuste, pode-se destacar os seguintes:

- Combustíveis
 - Cide-Combustíveis
 - RENOVABIO
 - Programas de Eficiência Energética
 - Subsídios (REPETRO, REPEX etc.)
 - Financiamento
 - Aprimoramento do ambiente regulatório
 - Política de preços praticada pela PETROBRAS

- Eletricidade
 - Subsídios (Microgeração, Energias Alternativas, Isenção de tributos sobre a venda de carvão destinado à termoeletricidade etc.)
 - Financiamento
 - Aprimoramento do ambiente regulatório

- Indústria
 - Financiamento
 - Subsídios

- Agropecuária
 - Crédito e seguro rural
 - Imposto territorial rural (ITR)

Para mais detalhes de como esses instrumentos impactariam a política de precificação de carbono, e as recomendações dadas pelo PMR para otimizar tais instrumentos, pode-se consultar os produtos do Componente 1 do projeto PMR-Brasil (Margulis, Seroa da Motta et al, 2018).

8. Arranjos Institucionais

8.1 Projeto de Lei 528/2021

O PL 528/2021 propõe a criação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE). Nesse mercado, alguns setores da economia têm metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa: os agentes que emitiram além do seu limite permitido precisam comprar créditos de agentes que emitiram menos, e assim geraram créditos. A criação do MBRE está prevista na lei que instituiu a Política Nacional de Mudança do Clima (Lei 12.187/09), e é uma recomendação do Protocolo de Quioto, tratado internacional ratificado pelo Brasil que prevê a redução da concentração de GEE no planeta.

O projeto de lei se inicia apresentando princípios, palavras e expressões, acompanhados de seus significados, como “créditos de carbono”, “Compensação de Emissões”, “Mercado Voluntário”, e “Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE)”, dentre outros.

São objetivos do MBRE o fomento às atividades de projetos de redução e remoção de emissões de GEE, o incentivo econômico à conservação e proteção ambientais, a melhoria do ambiente e segurança do mercado de créditos de carbono no Brasil, a valorização dos ativos ambientais brasileiros, a geração de riqueza e combate à pobreza por meio da atração de investimentos de baixo carbono, e a redução dos custos de mitigação de emissões de GEE.

O projeto de lei discorre ainda sobre os projetos elegíveis ao MBRE, que devem ser verificados e emitidos conforme padrões de certificação e metodologias que sejam compatíveis e comparáveis com as melhores práticas internacionais.

O PL cria também o Sistema Nacional de Registro de Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SNRI-GEE), com o objetivo de efetuar o registro de projetos de redução ou remoção de GEE e de créditos de carbono, para assegurar a credibilidade e segurança das transações e servindo como ferramenta adicional para a

contabilidade nacional das transações com créditos de carbono originados no país, sejam elas transações nacionais ou internacionais.

O SNRI-GEE deverá ser administrado pelo Instituto Nacional de Registro de Dados Climáticos (INRDC), pessoa jurídica de direito privado, fiscalizado e regulado pelo Ministério da Economia. O INRDC tem como objetivo registrar e tornar públicos os projetos e programas de geração de créditos de carbono, servir de ferramenta de controle e contabilidade nacional das transações com créditos de carbono originados no país, realizar projeções para a definição das ambições e atingimento das metas nacionais e internacionais referentes às Mudanças Climáticas, e coordenar a definição de metodologias e elaboração dos inventários nacionais de emissões de GEE, além de outras funções relacionadas aos objetivos desse PL.

O PL propõe o prazo de 5 anos a partir da publicação da Lei para que o Ministério da Economia regulamente o programa nacional obrigatório de compensação de emissões de GEE. Esse programa deverá se basear nos dados dos inventários nacionais de emissões de GEE, nos setores da economia com maior índice de emissões de GEE, nos setores da economia com maior capacidade de remoção e compensação de GEE, e estabelecer metas setoriais e individuais de redução, remoção e compensação de forma progressiva e de acordo com a NDC brasileira. O programa nacional obrigatório de compensação de emissões deverá também criar benefícios financeiros e administrativos para as pessoas jurídicas que adotaram medidas públicas de inventariação e compensação de suas emissões de GEE no Mercado Brasileiro de Redução de Emissões. As transações nacionais no mercado voluntário de créditos de carbono serão isentas de pagamento dos tributos federais PIS, COFINS e CSLL. Com a eventual aprovação e entrada em vigor do PL 528/2021, o Brasil passaria a adotar instrumentos de precificação de carbono e de governança climática semelhantes a instrumentos já observados em diversos outros países, aumentando as vantagens competitivas do país para a redução das emissões de GEE rumo a uma economia neutra em carbono em 2050.

8.2. Decreto 11.075/2022

Em maio de 2022 foi publicado o decreto 11.075/2022 do governo federal, que pode ser considerado um primeiro passo na direção da regulamentação de um mercado doméstico de créditos de carbono. O decreto pode ser um ponto de partida para implementação de uma política de precificação de carbono no Brasil.

O decreto cria um registro único de créditos de carbono (SINARE - Sistema Nacional de Redução de Emissões de GEE) e classifica os créditos como ativos financeiros. Define também o crédito de metano, como crédito diferente do mensurado em CO₂e, que o governo acredita que possa vir a ter um prêmio em relação ao CO₂e devido ao Acordo do Metano, ao qual o Brasil se comprometeu durante a COP 26.

O decreto se baseia na futura elaboração de planos setoriais, que deverão estabelecer metas setoriais gradativas de redução de emissões e define que os créditos de carbono utilizados para o cumprimento das metas deverão estar registrados no SINARE. Estes planos setoriais deverão ser aprovados pelo Comitê Interministerial de Mudança do Clima e Crescimento Verde, mas ainda não há definição de prazos e regras específicas.

O Decreto 11.075/2022 vem sofrendo diversas críticas desde a sua publicação, em geral questionando sua segurança jurídica. Um Decreto é um ato normativo secundário, abaixo da Lei, e não chega a ter natureza jurídica de lei. Os decretos normalmente são utilizados para detalhar as leis, sem alterá-las ou contradizê-las. Dessa forma, o decreto não garante segurança jurídica ao setor privado para que o mercado de carbono criado comece efetivamente a funcionar. Além disso, o decreto pode ser revogado a qualquer momento pelo chefe do Poder Executivo da União, e considerando que estamos em um ano de eleições presidenciais, este é um detalhe importante.

Por outro lado, ao anunciar a sua criação, o governo citou que o decreto criado apoia o Projeto de Lei em discussão no Congresso com o objetivo de criar o mercado de carbono. Um maior apoio do governo sobre este tema pode garantir a aprovação do Projeto de Lei 528/2021 de forma mais rápida, o que é positivo.

9. Considerações Finais

Este relatório apresenta uma proposta preliminar de como deveria ser uma política de precificação de carbono no Brasil, com base em uma revisão da literatura, resultados de projetos relacionados à precificação de carbono coordenados pelo Centro Clima como PMR Brasil (La Rovere et al, 2020) e a Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2021), e consultas a stakeholders e partes interessadas.

Essa proposta preliminar buscou ilustrar um caminho possível de implementação do instrumento de precificação de carbono no Brasil, e certamente um maior detalhamento desse instrumento, assim como da política climática brasileira como um todo, será necessário em um segundo momento.

Em cenários de médio e longo prazo no Brasil, a implementação da precificação de carbono é um passo necessário, mas não suficiente, em que se pese a importância e magnitude das emissões provenientes de AFOLU. Por exemplo, as emissões do desmatamento ilegal não responderiam a esse instrumento, devendo então, ser controladas e reduzidas com a introdução de outros instrumentos e políticas (comando e controle, moratórias da soja e do gado etc.).

Diversos estudos simulando diferentes políticas de precificação de carbono para cumprir as metas da NDC no Brasil já foram executados, entre eles podemos citar o PMR Brasil (La Rovere et al, 2020) e a Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2021). Esses estudos avaliaram a relação custo-benefício e o desempenho socioeconômico das políticas de precificação de carbono em comparação um cenário de referência, sem precificação de carbono.

Em linhas gerais, os resultados do estudo realizado para a Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2020) mostram que, até 2030, as emissões evitadas acumuladas provenientes da redução do desmatamento e de outras medidas dentro do setor de AFOLU equivaleriam a cerca de 2/3 de todas as emissões evitadas pelo país, enquanto a precificação de carbono seria responsável por cerca de 1/3 apenas.

A boa notícia é que um preço de carbono relativamente baixo (menos de 10 USD/t CO₂e) seria suficiente para cumprir as metas brasileiras de NDC até 2030. Isso se deve em grande parte ao enorme potencial de mitigação do país a baixo custo e a grande oferta de offsets disponíveis a partir de compensações florestais. Um limite de 30%

de sua contribuição para atender aos limites de emissões da indústria permitiria garantir que a transição energética no país não ocorra tardiamente devido à utilização desse potencial.

A flexibilidade possibilitada pela precificação do carbono o torna o instrumento com a maior custo-efetividade para garantir o atingimento das metas da NDC e superá-las numa transição para a neutralidade climática em 2050, além de ajudar a alcançar outras metas de desenvolvimento em comparação com políticas alternativas (comando e controle, subsídios a investimentos e outros instrumentos de política sozinhos).

Os esquemas de precificação de carbono também são capazes de auxiliar em uma transição suave para uma sociedade de baixo carbono no Brasil. Entretanto, será importante promover ajustes regulares no sinal de preço do carbono (ou ajuste das permissões de emissão) para garantir que futuras metas brasileiras mais ambiciosas de mitigação de emissões de GEE no médio e longo prazo continuem sendo cumpridas. Também será importante abordar as prioridades urgentes para o desenvolvimento econômico, incluindo uma redução constante das desigualdades econômicas e da pobreza extrema no país.

A aceitação política do instrumento de precificação de carbono é fundamental. Isso foi ilustrado pelo movimento dos “coletes amarelos” na França e pela greve geral liderada por caminhoneiros no Brasil. Esses movimentos e eventos sociais mostram a importância da aceitabilidade política que depende do equilíbrio alcançado entre as metas de mitigação e de desenvolvimento do país.

No mundo real, a economia política da agenda de precificação de carbono provavelmente exigirá que as receitas de carbono sejam divididas entre diferentes fins, com destaque para a alocação de receitas para reduzir encargos trabalhistas e gerar novos empregos, e para compensação dos impactos negativos sobre o poder de compra das famílias de baixa renda. No estudo para a Iniciativa Clima e Desenvolvimento (La Rovere et al, 2020), por exemplo, foi adotada uma destinação de desses recursos sob a forma transferências sociais para famílias dos domicílios pertencentes à faixa dos 20% de mais baixa renda, de modo a recompor o poder de compra dessas famílias no cenário inicial. O restante das receitas foi utilizado para redução da carga tributária sobre a mão de obra.

As convulsões sociais e crises políticas já registradas, alimentadas pelo aumento dos preços dos combustíveis fósseis, confirmam uma das conclusões da Comissão Stiglitz-Stern (2017), sobre o papel essencial de políticas públicas complementares para garantir o sucesso de qualquer esquema de precificação de carbono.

10. Referências

- La Rovere, E.L., Dubeux, C. B. S., Wills, W. et al (2021). Policy lessons on Deep Decarbonization in large emerging economies, Brazil. Deep Decarbonization Pathways (DDP) Initiative - IDDRI. Paris. https://ddpinitiative.org/wp-content/pdf/DDP_BIICS_CountryReport_BRA.pdf
- La Rovere, E.L., Dubeux, C. B. S., Wills, W. et al (2022). Enabling conditions for investment in the transition to a low-carbon society in Latin American countries. Centro Clima / COPPE / UFRJ.
- La Rovere, E.L., Wills, W., Dubeux, C. B. S. et al (2020). Preparação de Modelagem para Estimar os Impactos Socioeconômicos da Adoção de um Instrumento de Precificação de Carbono como parte do Pacote de Implementação da NDC Brasileira - Componente 2a (Modelagem). PMR Brasil, 2020.
- La Rovere, E.L., Wills, W., Dubeux, C. B. S. (2021). Estudo Técnico da Iniciativa Clima e Desenvolvimento. Centro Clima / COPPE / UFRJ.
- Lefevre, Wills & Hourcade. Combining low-carbon economic development and oil exploration in Brazil? An energy-economy assessment. CLIMATE POLICY, v.1, p.1 - 10, 2018.
- Margulis, S.; Schaeffer, R. ; Brito, M. ; Queiroz, H. ; Desclaux, L. ; Lucena, A. ; Szklo, A. ; Gavioli, L. ; Silva, P.. (2020). Relatório Final do Produto 3 - Recomendações para o setor de Combustíveis. Componente 1. PMR Brasil, 2020.
- Margulis, S.; Seroa da Motta, R.; Brito, M.; Kansy, T.; Gramkow, C.; Gavioli, L.; Pamela, S.(2018). Recomendações de pacotes de instrumentos de precificação de carbono. Componente 1. PMR Brasil, 2018.
- Stiglitz, J.E.; Stern, N. (chairs); Duan, M.; Edenhofer, O.; Giraud, G.; Heal, G.; La Rovere, E.L.; Morris, A.; Moyer, E.; Pangestu, M.; Shukla, P.R.; Sokona, Y.; Winkler, H.; Report of the High-Level Commission on Carbon Prices, Carbon Pricing Leadership Coalition, supported by the World Bank Group, ADEME, Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (France), 29 May 2017.
- Wills, W. (2013). Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil / William Wills. - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.<http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/wills.pdf>
- Wills, W., La Rovere, E.L., Grottera, C., Napolini, G. F., Le Treut, G., Gherzi, F., Lefèvre, J., Dubeux, C.B.S., 2021. Economic and social effectiveness of carbon pricing schemes to meet Brazilian NDC targets. Climate Policy, 2021. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1981212>
- WORLD BANK, ECOFYS, VIVID ECONOMICS. State and Trends of Carbon Pricing 2021, Washington, DC.

ANEXO I – Emissões Totais e Níveis de Precificação de Carbono no Brasil Requeridos para o Cumprimento do Acordo de Paris em 2030 e EM 2050 (Iniciativa Clima e Desenvolvimento)

Tabela 1. Emissões totais de GEE nos cenários de referência e de mitigação adicional, por setor, entre 2005 e 2050 (Mt CO₂e)

Mt CO ₂ e	Cenário	2005	2010	2020	2030	2040	2050
MUT – Emissões brutas	REF	2.258	933	1.034	1.039	1.039	1.039
	CMA1				624	204	72
Remoções (MUT, florestas, áreas protegidas, outras)	REF	-678	-675	-608	-573	-593	-610
	CMA1				-747	-882	-1.141
Agricultura (culturas + energia)	REF	127	143	92	97	101	115
	CMA1				99	106	119
Pecuária (fermentação entérica + dejetos)	REF	393	395	432	466	485	529
	CMA1				453	444	413
Transportes	REF	139	174	175	209	220	240
	CMA1				166	138	111
Indústria (Energia + IPPU)	REF	141	162	165	194	231	267
	CMA1				169	175	176
Energia (oferta + demanda residencial e serviços)	REF	115	128	124	126	116	118
	CMA1				93	86	77
Resíduos	REF	67	74	99	121	143	169
	CMA1				102	93	86
Total	REF	2.562	1.336	1.511	1.679	1.742	1.868
	CMA1				957	364	-87

Fonte: Unterstell, La Rovere et al. (2021) - Iniciativa Clima e Desenvolvimento

Tabela 2. Níveis de precificação de carbono até 2050 requeridos no cenário de mitigação adicional para alcance da meta brasileira de neutralidade climática até 2050 (US\$/t CO₂e)

Ano	2010	2020	2030	2040	2050
Preço do Carbono (US\$/t CO ₂ e)	0	0	19,0 ¹⁵	34,1	49,3

Fonte: Unterstell, La Rovere et al. (2021) - Iniciativa Clima e Desenvolvimento

¹⁵ Esse valor se refere ao preço de carbono necessário para garantir que o país esteja na trajetória de neutralização das emissões de GEE até 2050, e é mais elevado do que o valor necessário para o atingimento da meta da NDC para 2030 (abaixo de 10 USD/t CO₂e, de acordo com o PMR Brasil).