

## **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 III. Plano de Mitigação do Setor Industrial**

**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 III. PLANOS SETORIAIS DE MITIGAÇÃO.....	1
Plano de Mitigação do Setor Industrial .....	2
1. Apresentação do Setor .....	3
2. Objetivos .....	4
3. Ações de Mitigação.....	5
3.1. Eficiência Energética .....	5
3.2. Substituição de Combustível .....	6
3.3. Novos Processos de Produção.....	6
4. Instrumentos .....	7
4.1. Linha de Crédito para Eficiência Energética .....	9
4.2. Desburocratização do Acesso ao Crédito para Medidas de Baixo Carbono .....	10
4.3. Precificação de Carbono.....	10
4.4. Criação de um Selo de Eficiência Energética Industrial .....	10
4.5. Consolidação e Disseminação de Tecnologias de Baixo Carbono .....	10
4.6. Realização de Atividades de Treinamento e Campanhas de Conscientização Sobre a Adoção de Tecnologias-Chave de Baixo Carbono.....	11
4.7. Regulamentação para Incentivo do Uso de Resíduos como Fonte de Energia .....	11
4.8. Melhorias Regulatórias de Promoção à Reciclagem.....	12

4.9. Criação de Selos de Origem para Lenha de Florestas Energéticas .....	12
4.10. Estabelecimento de Normas para a Substituição de Gases com Alto GWP .....	12
5. Referências.....	14
Apêndice 1 – Instrumento Proposto: Programa de Financiamento de Eficiência Energética para a Indústria....	16
Apêndice 2 – Oportunidades de Investimento .....	20
A2.1. Oportunidade de Investimento 1 – Eficiência Energética no Setor Industrial Brasileiro .....	20
A2.2. Oportunidade de Investimento 2 – Aproveitamento de Resíduos como Fonte Alternativa de Energia na Indústria Cimenteira .....	27

## 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 <sub>2</sub> e) .....	30
Figura 3.	Emissões de GEE, CO <sub>2</sub> e não-CO <sub>2</sub> , nos cenários (Mt CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> e).....	35
Figura 7.	Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO <sub>2</sub> e).....	35
Figura 8.	Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO <sub>2</sub> e).....	36

## FIGURAS - Parte III

Figura 1.	Consumo de energia e participação de não fósseis entre 2005 e 2020 na indústria brasileira .....	4
Figura 2.	Histórico de emissões e cenários futuros para a indústria brasileira.....	5
Figura 3.	Esquema de financiamento .....	19
Figura 4.	Localização das fábricas e moinhos de cimento no Brasil. ....	30
Figura 5.	Equipamento típico instalado em fábrica de cimento .....	30

## 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 <sub>2</sub> e).....	20
Tabela 2.	Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por ações de mitigação, por década (Mt CO <sub>2</sub> e) .....	21
Tabela 3.	Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por faixa de custo de ações de mitigação, por década (Mt CO <sub>2</sub> 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 III

Tabela 1.	Resumo das ações de mitigação .....	7
Tabela 2.	Indústria – Instrumentos de política e barreiras relacionadas identificadas.....	8
Tabela 3.	Medidas de eficiência energética.....	24
Tabela 4.	Emissões mitigadas pelas medidas de eficiência energética .....	25
Tabela 5.	Custos de mitigação.....	25
Tabela 6.	Redução de emissões na produção de cimento com combustíveis alternativos.....	31

## 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 uma proposta de Plano de Mitigação do Setor Industrial (Parte III).



## 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 CO<sub>2</sub>e, obtido no Terceiro Inventário Nacional, representando uma alteração substancial no valor utilizado na primeira versão do 2,1 Gt CO<sub>2</sub>e. Portanto, o limite absoluto de emissões de GEE em toda a economia aumentou em 2025 (de 1,3 para 1,8 Gt CO<sub>2</sub>e) e 2030 (de 1,2 para 1,6 Gt CO<sub>2</sub>e). 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 CO<sub>2</sub>e de 2005 do Quarto Inventário Nacional, o relatório mais recente, as novas metas de emissão são de 1,6 Gt CO<sub>2</sub>e em 2025 e 1,3 Gt CO<sub>2</sub>e em 2030.<sup>1</sup>

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:

- 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.

---

<sup>1</sup> 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 CO<sub>2</sub>e em 2030, sem aumento na ambição entre 2030 e 2050. O Cenário de Descarbonização Profunda (DDS, sigla em inglês) atinge 0,95 Gt CO<sub>2</sub>e 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.<sup>2</sup>

- **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, H<sub>2</sub>, CCS e processos industriais altamente emissores (aço verde, cimento, etc.).

---

<sup>2</sup> 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 CO<sub>2</sub>;
- 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<sub>2e</sub> em 2030 e 49,3 USD / t CO<sub>2e</sub> 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 proteína animal, 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. Entre 2020-2030, a produção total aumenta 22% e entre 2030-2050, 47%. A área ocupada pelas culturas aumenta 5% até 2030 e 6% no período 2030-2050, atingindo 75 Mha em 2050 (sem considerar a área com cultivos 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 7% ao longo do tempo devido aos ganhos de produtividade, e a área de pastagem cai para 105 Mha (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% no período 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 seguindo o crescimento da área de soja e de 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 CO<sub>2</sub>e em 2050, correspondendo a uma redução de 93% em relação a 2020. As Áreas Protegidas (unidades de conservação e terras indígenas) removem 487 Mt CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>eq 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 CO<sub>2</sub>eq), permitindo que o país alcance a neutralidade de carbono em 2050.

No CPS, a produção agrícola cresce mais do que no DDS (24% entre 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 CO<sub>2</sub>eq 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 CO<sub>2</sub>eq 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 CO<sub>2</sub>eq 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 CO<sub>2</sub>eq 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 CO<sub>2</sub>e.

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 CO<sub>2</sub>e.

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 CO<sub>2</sub>e.

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 CO<sub>2</sub>e.

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 CO<sub>2</sub>e) 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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e no CPS e 52 Mt CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e em 2020 para 16 Mt CO<sub>2</sub>e no CPS e 2 Mt CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e, cerca de 50% menos do que o CPS, que aumenta até 169 Mt CO<sub>2</sub>e, 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 CO<sub>2</sub>e. 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 Modelagem<sup>3</sup>

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

---

<sup>3</sup> 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 SF<sub>6</sub> 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).<sup>4</sup> 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

---

<sup>4</sup> 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).<sup>5</sup> 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 Brasil<sup>6</sup>.

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).<sup>7</sup>

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.

<sup>5</sup> 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/>.

<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> 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).

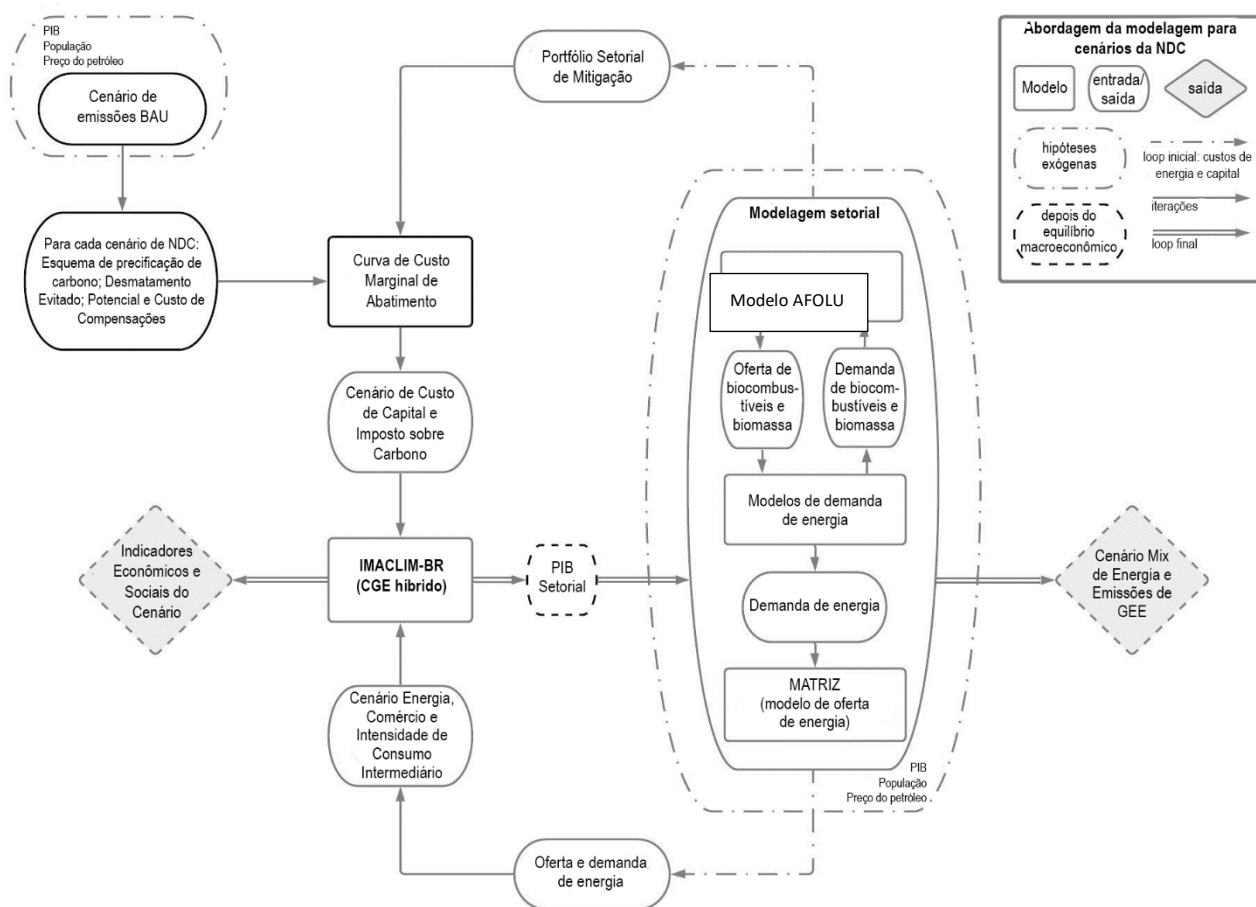


Figura 1. Diagrama de modelagem integrada para cenários do Brasil

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).<sup>8</sup>

#### 4. Ações de Mitigação, Metas e Marcos por Setor<sup>9</sup>

Nos cenários, as emissões de GEE atingem -87 Mt CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e. Além disso, as remoções de carbono aumentam 87%, o equivalente a 531 Mt CO<sub>2</sub>e, 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 CO<sub>2</sub>e (54%), seguido do setor dos resíduos com uma redução de 83 Mt CO<sub>2</sub>e (49%), e das atividades pecuárias com 116 Mt CO<sub>2</sub>e (22%). Finalmente, na indústria, a redução é de 91 Mt CO<sub>2</sub>e (34%), e na oferta de energia somada a outros setores de consumo de energia é de 41 Mt CO<sub>2</sub>e (35%). A única atividade com um ligeiro aumento nas emissões é o cultivo, com 4 Mt CO<sub>2</sub>e (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.

---

<sup>8</sup> 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>.

<sup>9</sup> 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 CO<sub>2</sub>e)

MtCO <sub>2</sub> 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)<sup>10</sup>

- 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 CO<sub>2</sub>e).

<sup>10</sup> 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 CO<sub>2</sub>e)

Emissões evitadas cumulativas por década (Mt CO <sub>2</sub> e)	Décadas		
	2021 – 2030	2031 – 2040	2041 – 2050
<b>Ações de mitigação total</b>	<b>2.584</b>	<b>9.720</b>	<b>14.548</b>
<b>Política de Precificação de Carbono</b>	<b>1.188</b>	<b>2.809</b>	<b>5.358</b>
<b>AFOLU</b>	<b>785</b>	<b>1.483</b>	<b>3.281</b>
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
<b>Transporte (carga e passageiro)</b>	<b>239</b>	<b>639</b>	<b>1.064</b>
Troca de modal	65	169	271
Eletromobilidade	125	346	520
Biocombustíveis	48	124	273
<b>Indústria</b>	<b>139</b>	<b>387</b>	<b>694</b>
Indústrias energo-intensivas	99	257	451
Indústria leve (resto da indústria)	40	129	243
<b>Oferta de Energia</b>	<b>25</b>	<b>300</b>	<b>319</b>
Geração de eletricidade	8	112	100
Autoconsumo e emissões fugitivas	17	188	219
<b>Outras políticas de mitigação</b>	<b>1.396</b>	<b>6.911</b>	<b>9.190</b>
<b>AFOLU</b>	<b>1.290</b>	<b>6.531</b>	<b>8.458</b>
Redução da taxa anual de desmatamento + aumento de unidades de conservação, terras indígenas e outras áreas protegidas	1.290	6.531	8.458
<b>Resíduos</b>	<b>106</b>	<b>380</b>	<b>732</b>

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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e) e 2031-2040 (322 versus 302 Mt CO<sub>2</sub>e) 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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e).

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 CO<sub>2</sub>e, 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 CO<sub>2</sub>e. Portanto, uma trajetória muito mais econômica dos preços do carbono (como 19,0, 22,8 e 26,6 USD/t CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e)

Faixas de custo da ação de mitigação (USD / t CO <sub>2</sub> e)	2021 – 2030		2031 – 2040		2041 – 2050	
	Mt CO <sub>2</sub> e	% Mt CO <sub>2</sub> e / período	Mt CO <sub>2</sub> e	% Mt CO <sub>2</sub> e / período	Mt CO <sub>2</sub> e	% Mt CO <sub>2</sub> 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%

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

- 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
Variação 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 <sub>2</sub> e)	1.564	1.511	1.679	1.868	957	-87
Emissões per capita (t CO <sub>2</sub> e)	7,70	7,13	7,46	8,02	4,25	-0,37
Preço do carbono (2020 USD/t CO <sub>2</sub> 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 comprovação 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 CO<sub>2</sub>e, 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

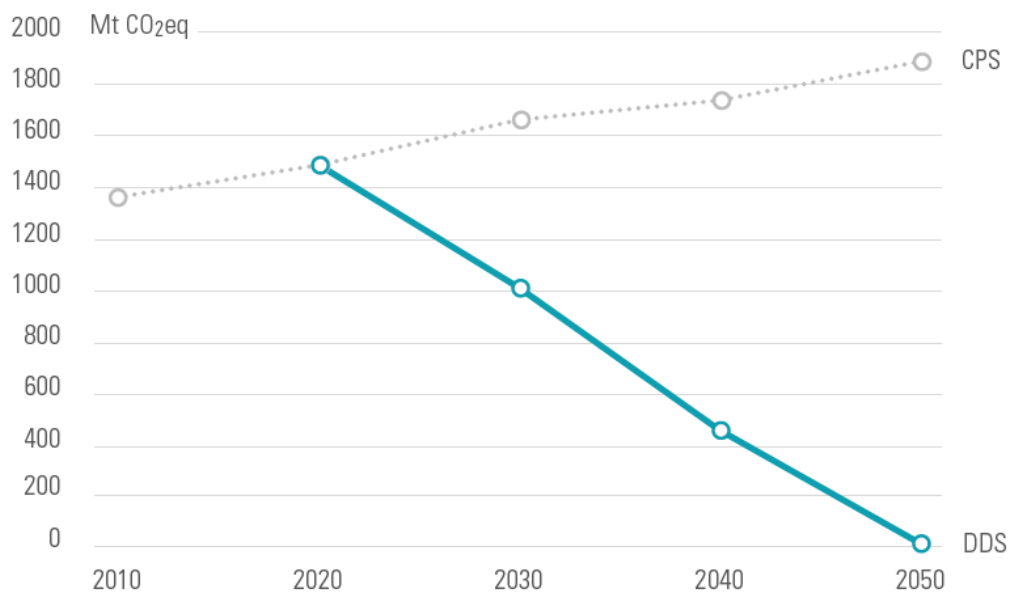


Figura 2. Emissões de GEE sob os cenários de políticas atuais (CPS) e de descarbonização profunda (DDS) (Mt CO<sub>2</sub>e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

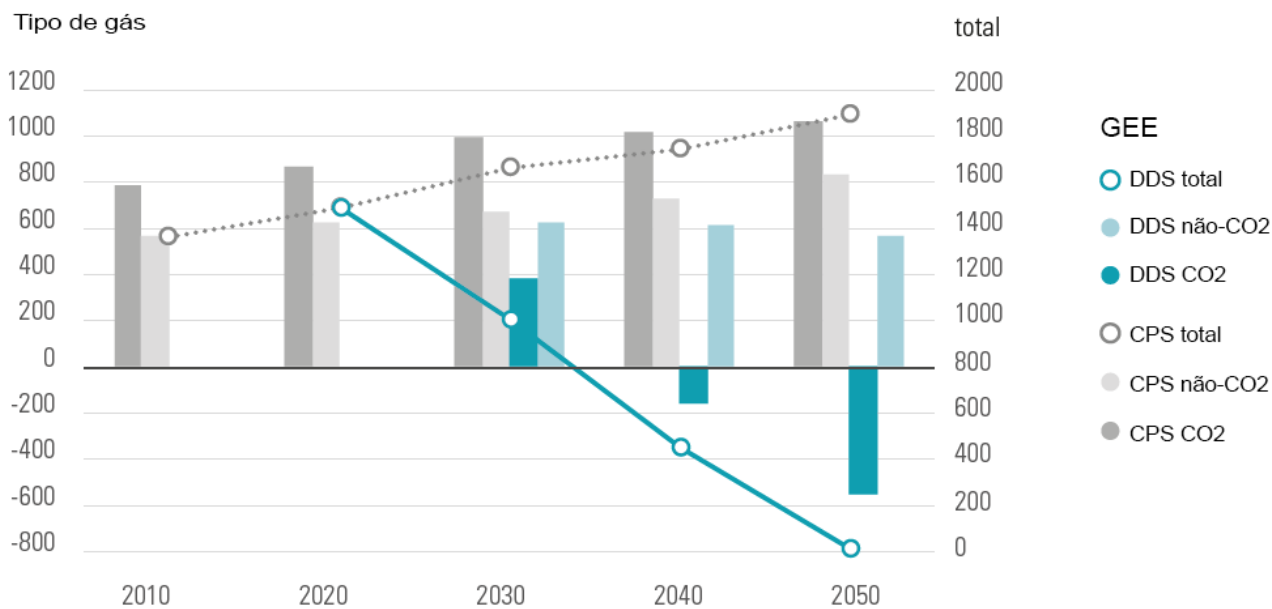


Figura 3. Emissões de GEE, CO<sub>2</sub> e não-CO<sub>2</sub>, nos cenários (Mt CO<sub>2</sub>e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

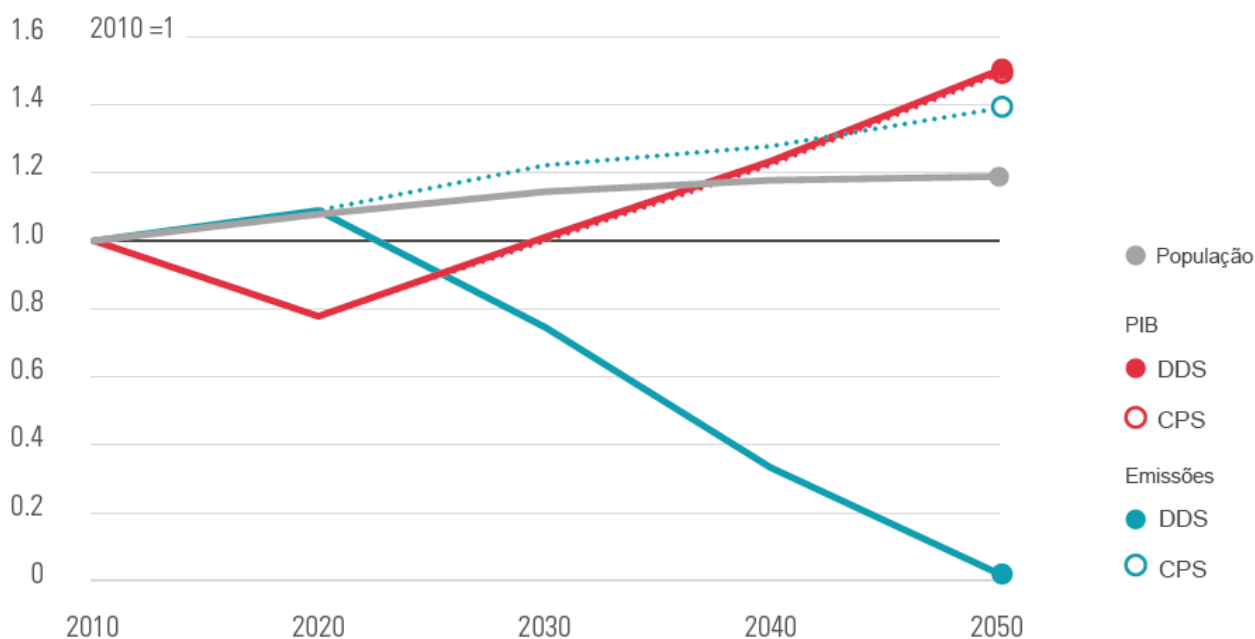


Figura 4. Emissões de GEE x População x PIB (2010 =1)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

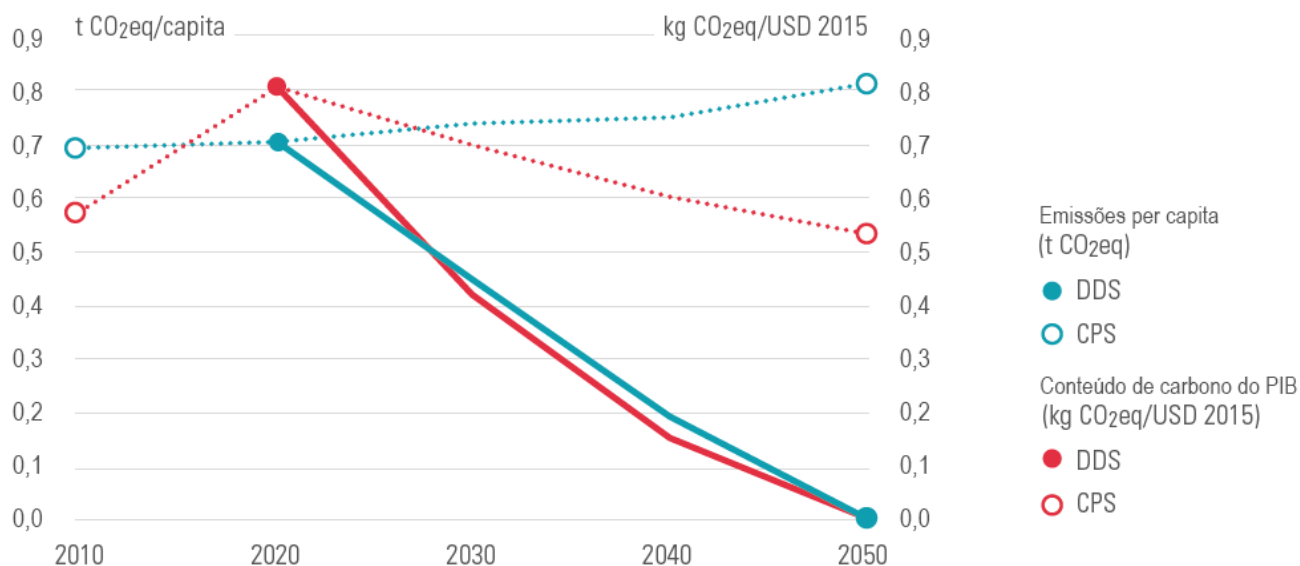


Figura 5. Intensidade de emissões per capita e por PIB

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);<sup>11</sup>
- 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

---

<sup>11</sup> 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.<sup>12</sup>

### 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 CO<sub>2</sub>e, em 2030, 2040 e 2050, respectivamente. Para ilustrar<sup>13</sup> 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 MtCO<sub>2</sub>e) 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).

<sup>12</sup> 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.

<sup>13</sup> 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 CO<sub>2</sub>e na moeda de 2020 = USD 19 / t CO<sub>2</sub>e (a 1 USD = Br\$ 5,15 em 2020). Esse valor equivale a Br\$ 78,75/t CO<sub>2</sub>e na moeda de 2015 = USD 25/t CO<sub>2</sub>e (a 1 USD = Br\$ 3,15 em 2015).



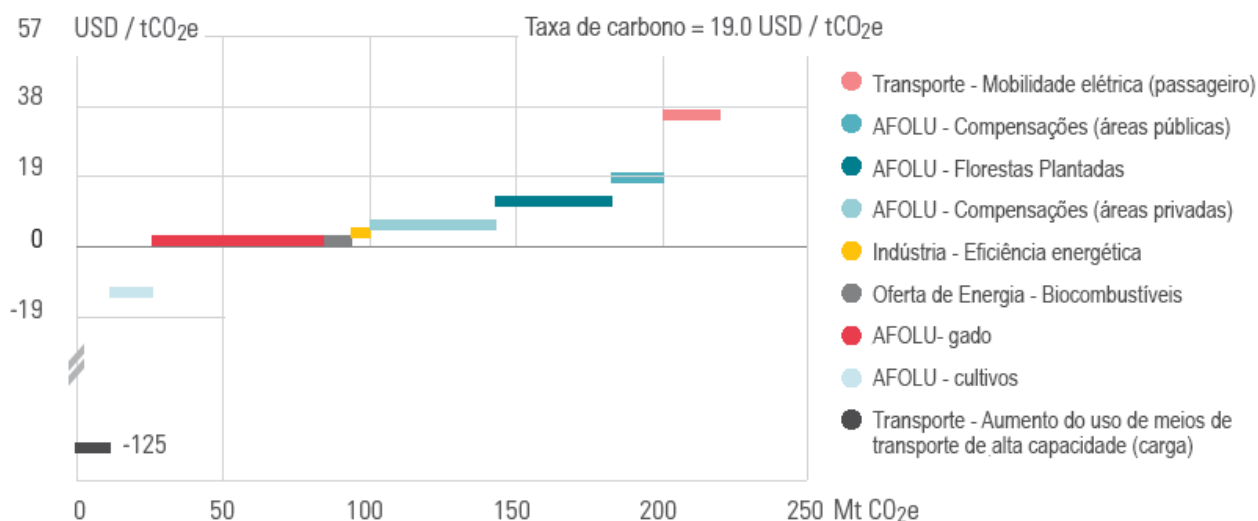


Figura 6. Curva de custo de abatimento marginal 2021-2030 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO<sub>2e</sub>)  
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

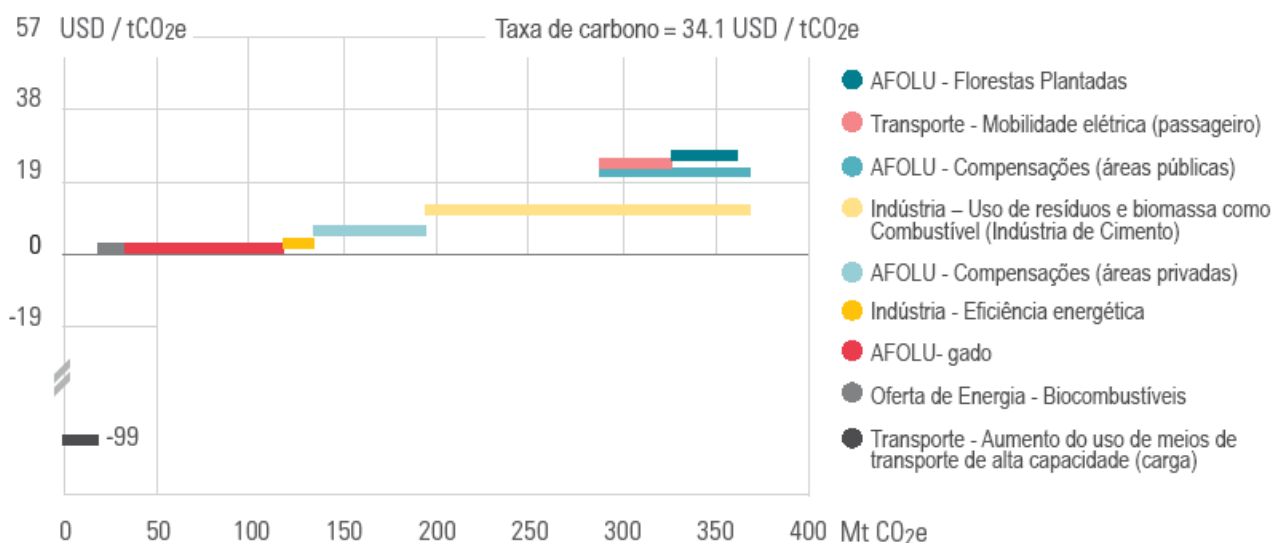


Figura 7. Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO<sub>2e</sub>)  
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

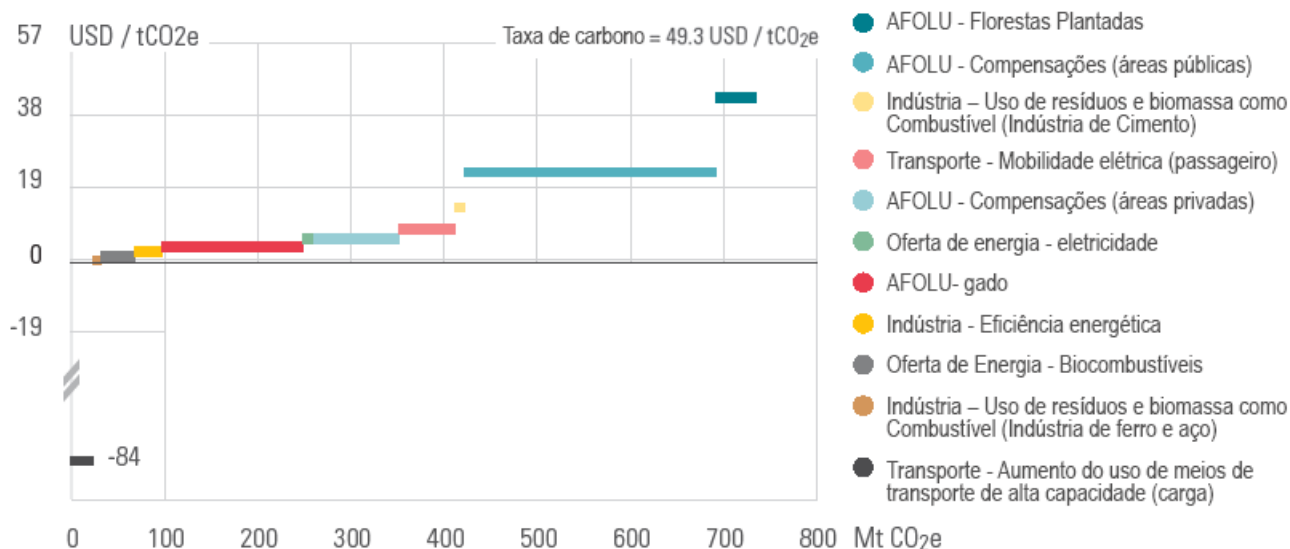


Figura 8. Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO<sub>2</sub>e)  
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

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)
7	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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub>e 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 CO<sub>2</sub> 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
<b>Total</b>	<b>18,31</b>	<b>68,80</b>	<b>112,93</b>

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 sectores 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/industrys\\_importance\\_in\\_brazil\\_march2022.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/b0/6f/b06f3ef0-14f3-4497-b1d2-5716d2c95df5/industrys_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 III.

# PLANOS SETORIAIS DE MITIGAÇÃO

## Plano de Mitigação do Setor Industrial

*Autores: Otto Hebeda, Bruna Guimarães & Luciana Contador*

## 1. Apresentação do Setor

A indústria brasileira é a terceira maior emissora de gases de efeito estufa (GEE) entre os setores econômicos, atrás de Agricultura Florestas e Outros Usos do solo (AFOLU) e Transportes. Em 2020, os segmentos industriais emitiram 165 Mt CO<sub>2</sub>e (cerca de 10% do total), sendo as indústrias de Siderurgia, Cimento e Química responsáveis pela maior parte dessa emissão. Nos últimos dez anos, as emissões do setor industrial estagnaram em torno de 160 Mt CO<sub>2</sub>e principalmente devido às crises econômicas que prejudicaram a atividade industrial (Unterstell e La Rovere, 2021).

As emissões no setor industrial provêm de duas fontes principais: (i) consumo de energia e (ii) processo industrial ou uso do produto (IPPU). Em relação ao primeiro uso, a energia é utilizada na indústria para uma ampla gama de fins, como aquecimento e resfriamento de processo, calor direto, ar-condicionado, iluminação e força motriz (EPE, 2018b). O outro tipo de emissões refere-se àquelas provenientes de reações químicas (apesar da combustão) ou do uso de produtos que emitem GEE. Por exemplo, o processo de produção de cimento tem uma etapa intermediária chamada calcinação, onde o calcário se decompõe em óxido de cálcio e dióxido de carbono. No caso do uso de produtos, podemos destacar os fluorocarbonetos, compostos químicos utilizados na produção de alumínio, ou equipamentos de ar-condicionado.

A indústria consome 33% de toda a energia consumida no Brasil (EPE, 2021). Juntamente com o setor de Transportes, são os maiores consumidores de energia. Entre 2005 e 2020, a energia consumida aumentou até 2014, depois diminuiu devido às crises econômicas. Alimentos e Bebidas, Siderurgia e Papel e Celulose são os principais segmentos em termos de consumo de energia. Juntos, eles respondem por 63% da energia consumida. A indústria brasileira se destaca pela alta participação de combustíveis não fósseis, principalmente a biomassa. A participação dos combustíveis não fósseis é superior a 60% desde 2005. A Figura 1 mostra as principais fontes de energia consumidas na indústria brasileira e a participação dos não fósseis entre 2005 e 2020. Alimentos e bebidas e Papel e Celulose utilizam a energia de seus coprodutos energéticos. O bagaço de cana e o licor negro respondem por 70% e 52% do consumo de energia de alimentos e bebidas, papel e celulose, respectivamente. Além disso, o carvão vegetal é a segunda fonte de energia mais consumida pela siderurgia (EPE, 2021)

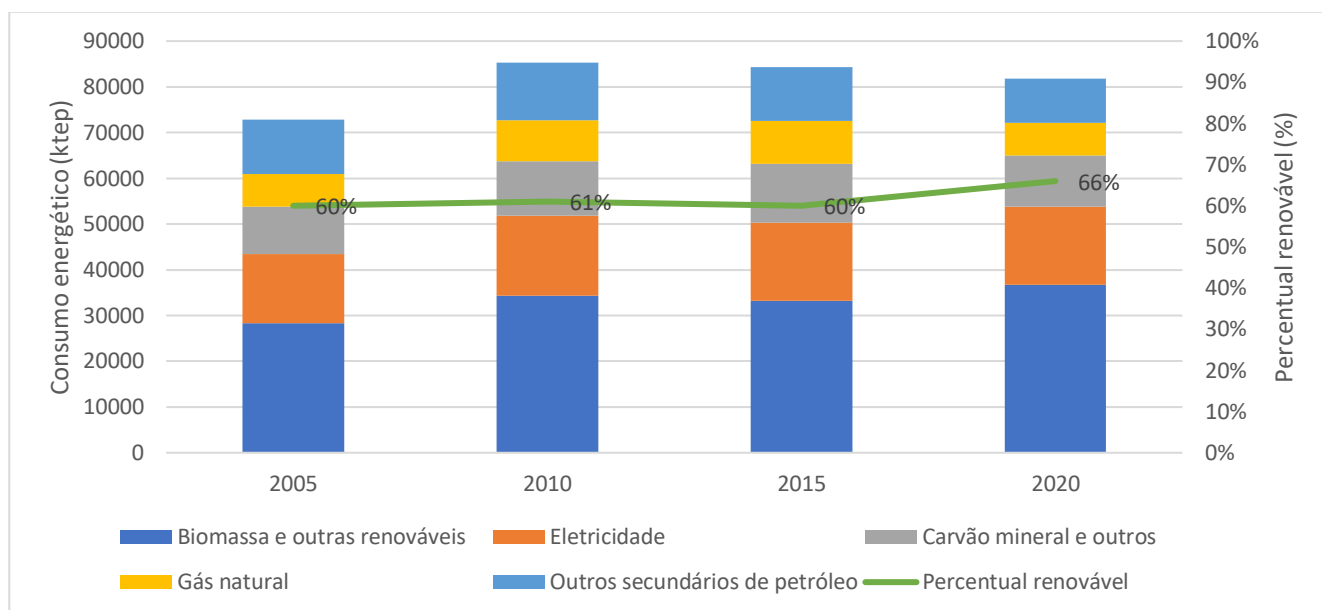


Figura 1. Consumo de energia e participação de não fósseis entre 2005 e 2020 na indústria brasileira

Fonte: EPE, 2021

As indústrias de aço e cimento são responsáveis por mais da metade das emissões totais do setor (Unterstell e La Rovere, 2021). O Brasil é o maior produtor de aço da América Latina e o nono maior produtor do mundo, com capacidade instalada de 50 Mt de Aço por ano (IABR, 2021). Devido à crise econômica, o setor opera com capacidade ociosa de 30%. O nível de produção ficou em torno de 30-35 Mt desde 2005. A indústria brasileira de cimento tem capacidade de produção anual de 100 milhões de toneladas e é a sexta maior do mundo (SNIC, 2019). Entre 2010 e 2014, a produção de cimento aumentou de 60 para 72 Mt. No entanto, caiu para 61 Mt em 2020.

## 2. Objetivos

O plano setorial visa promover a redução das emissões de GEE no setor industrial por meio da melhoria da sua eficiência energética. Estudos anteriores (Unterstell e La Rovere, 2021; La Rovere et al., 2021) mostraram que a eficiência energética é um fator importante na redução de emissões no setor industrial. Portanto, é fundamental abordar um instrumento que possa potencializar os investimentos nessa tecnologia, possibilitando a transição para uma economia de baixo carbono.

A partir do Cenário de Políticas Atuais (do inglês, *Current Policies Scenario* - CPS) e do Cenário de Descarbonização Profunda (do inglês, *Deep Decarbonization Scenario* - DDS) de La Rovere et al. (2021), analisamos as opções de mitigação para a transição para uma economia de baixo carbono. Suas trajetórias de emissões são mostradas na Figura 2. Considerando o CPS, as emissões da indústria brasileira devem crescer de 165 Mt CO<sub>2</sub>e em 2020 para 267 Mt CO<sub>2</sub>e. No DDS, implementando medidas de mitigação, como eficiência energética e substituição de combustível, o nível de emissão foi 34% inferior ao de referência.

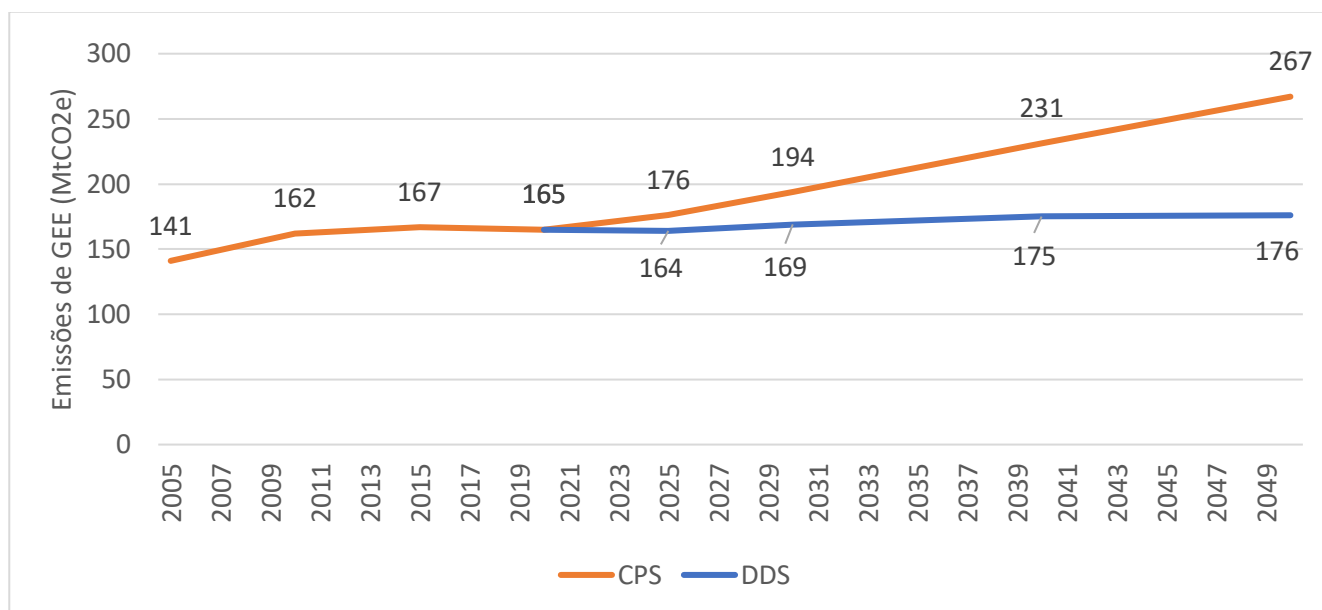


Figura 2. Histórico de emissões e cenários futuros para a indústria brasileira

Fonte: la Rovere et al., 2021

### 3. Ações de Mitigação

Para reduzir as emissões, o setor industrial deve investir em tecnologias de baixo carbono (Bataille et al., 2020; McKinsey, 2018; Worrell & Boyd, 2022). Um conjunto de medidas de mitigação bem conhecidas pode colocar a indústria brasileira no caminho rumo ao "net-zero" sem exigir tecnologias inovadoras. De modo geral, podemos citar três principais medidas de mitigação para o setor industrial: eficiência energética, substituição de combustíveis e novos processos produtivos (Bataille et al., 2018; IEA, 2020a).

#### 3.1. Eficiência Energética

A eficiência energética reúne todas as medidas de mitigação que podem ser aplicadas ao setor industrial para reduzir o consumo específico de um processo. Por exemplo, a injeção de carvão pulverizado pode reduzir o consumo de energia na produção de aço em 0,77GJ/t; controlar a umidade do carvão reduz 0,17GJ/t (Hasanbeigi et al., 2013). O potencial de redução de emissões por meio de tecnologias de eficiência energética está relacionado à diferença entre a eficiência atual e o limite de eficiência. No *International Energy Efficiency Scorecard* (2018), a indústria brasileira ocupa a penúltima posição entre 25 países. Apesar do resultado ruim, isso representa uma importante oportunidade de redução de emissões por meio da redução do consumo de energia das instalações industriais.



### 3.2. Substituição de Combustível

A substituição de combustíveis por outros com menor intensidade de emissão pode ajudar a indústria a reduzir suas emissões. Uma opção pode ser a mudança do carvão ou óleo combustível para o gás natural (Barroso et al., 2020; Mathur et al., 2022). Apesar de ser um combustível fóssil, o gás natural possui menor intensidade de emissão. Outra opção é a utilização de biomassa (carvão vegetal ou resíduos agrícolas) como fonte de energia (Pinto et al., 2018). 40% da matriz energética da indústria brasileira vem da biomassa; O bagaço da cana responde por 17% do total, a segunda maior participação, atrás apenas da energia elétrica (21%) (EPE, 2021).

### 3.3. Novos Processos de Produção

Por fim, outra forma de reduzir as emissões na indústria é mudar o processo produtivo. Por exemplo, na produção de aço, existem três principais rotas de produção no Brasil: alto-forno (BF) a carvão, BF a carvão vegetal ou forno elétrico a arco (Pinto et al., 2018). Aumentar a produção com as duas últimas tecnologias pode reduzir as emissões na indústria siderúrgica.

Para reduções adicionais, a indústria pode usar tecnologias baseadas em tecnologias inovadoras, como hidrogênio e captura de carbono (Griffiths et al., 2021; IEA, 2019; Karakaya et al., 2018; Rochedo et al., 2016). O hidrogênio é uma matéria-prima versátil que pode ser utilizada como fonte de energia em diversos processos industriais. Na indústria siderúrgica, a redução direta usando hidrogênio é frequentemente mencionada como uma tecnologia-chave para atingir metas de "net-zero" (Eurofer, 2013; IEA, 2020b). A Captura, Armazenamento e Uso de Carbono (CCSU) tem um grande potencial de mitigação na indústria brasileira (Rochedo et al., 2016). No entanto, apesar do nível de maturidade das tecnologias inovadoras, elas costumam ter custos elevados. O CCS e o hidrogênio na indústria siderúrgica têm preços de carbono acima de US\$ 100/t CO<sub>2</sub>e. Outra desvantagem é a exigência de infraestrutura para transporte e marcos regulatórios.

O estudo *Deep Decarbonization Pathways - Brazil (DDPBIICS)* analisou como a economia brasileira poderia se tornar "net-zero" até 2050 (La Rovere et al., 2021). Em relação ao setor industrial, uma constatação é que não há necessidade de implementação de tecnologias inovadoras. Isso é possível porque o país tem um grande potencial de reflorestamento, o que pode compensar as emissões do setor (Unterstell e La Rovere, 2021; La Rovere et al., 2021). Utilizando tecnologias de eficiência energética e substituindo combustíveis, é possível reduzir as emissões do setor de 267 para 176 Mt CO<sub>2</sub>e em 2050 a um preço de carbono inferior a USD20/t CO<sub>2</sub>e (La Rovere et al., 2021). A lista das principais premissas para os cenários CPS e DDS é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resumo das ações de mitigação

Segmento industrial	Medida de Mitigação	Exemplos	Variação entre 2050-2020	
			CPS	DDS
Cimento	Eficiência energética	Múltiplos estágios, melhoria da combustão	↓2,0% ktep/Mt	↓25% ktep/Mt
	Percentual de biomassa	-	-	2,8% → 11%
	Relação clínquer-cimento	Uso de cinzas	-	64% → 52%
Ferro e aço	Carvão vegetal	-	10% → 11%	10% → 15%
	Eficiência energética	Recuperação de calor, CDQ <sup>14</sup> , injeção de carvão	-	↓13% ktep/Mt
Química	Eficiência energética	Recuperação de calor, otimização de processos	↓3,6% ktep/Mt	↓24% ktep/Mt
	Melhorias de processo	-	-	↓23% t CO <sub>2</sub> e/t
Liga de ferro	Eficiência energética	-	↓2,0% ktep/Mt	↓23% ktep/Mt
HFCs	Uso de refrigerantes com baixo GWP	R1234yf, R744	-	↓98% Mt CO <sub>2</sub> e
Resto da indústria	Eficiência energética	-	↓2,8%ktep/Mt	↓21% ktep/Mt

Fonte: La Rovere, 2021

## 4. Instrumentos

Nesta sessão, apresentamos os instrumentos considerados para superar as barreiras relacionadas às principais opções de mitigação do setor. O primeiro passo foi realizar uma revisão da literatura para destacar as principais medidas de mitigação aplicáveis ao setor industrial. Em seguida, agrupamos as medidas em quatro grupos com base na revisão da literatura: (i) eficiência energética e outras melhorias de processo; (ii) mudança de combustível de combustíveis fósseis para energia renovável ou combustíveis alternativos; (iii) nova matéria-prima; e (iv) substituição de gases industriais com alto GWP (Unterstell e La Rovere, 2021; EPE, 2018a; La Rovere et al., 2021; MCTIC & ONU Meio Ambiente, 2017; Worrell et al., 2010; Worrell & Galitsky, 2008).

Em seguida, reunimos um conjunto de barreiras considerando as medidas de mitigação analisadas. Quanto às barreiras, elas podem ser agrupadas em quatro conjuntos: (i) barreiras econômicas e financeiras; (ii) barreiras tecnológicas; (iii) barreiras culturais e (iv) barreiras regulatórias (MCTIC & ONU Meio Ambiente, 2017). Para cada barreira, abordamos instrumentos que poderiam ajudar a superá-las. Após uma série de entrevistas com as partes interessadas (stakeholders), finalmente chegamos a um grupo menor das barreiras e instrumentos mais críticos. A Tabela 2 resume as medidas de mitigação, barreiras e instrumentos considerados na análise. Os instrumentos e barreiras em negrito são os destacados pelos stakeholders nas entrevistas.

<sup>14</sup>Apagamento a seco do coque ou coke dry quenching (CDQ)

**Tabela 2. Indústria – Instrumentos de política e barreiras relacionadas identificadas**

Medidas de mitigação	Barreiras Identificadas	Tipo de barreira	Propostas de Instrumentos de Política
Eficiência energética e outras melhorias de processo	<b>Acesso e custo de crédito</b>	E/F	<b>Linha de crédito para eficiência energética</b>
	Requisitos burocráticos para acesso ao crédito		Diversificação de produtos financeiros
	<b>Alto risco de investimento</b>		Diretrizes uniformes para análise de crédito
	<b>Concorrência com investimentos internos</b>		Redução de impostos para projetos de mitigação
	<b>Altos custos de investimento</b>		<b>Precificação do carbono</b>
	Custos de transação		<b>Desburocratização do acesso ao crédito para medidas de baixo carbono</b>
			Incentivar a participação das Empresas de Economia de Energia (ESCOS) no setor industrial
	Harmonização de políticas e criação de plataformas	R/I	Determinar limites de emissões
	Insegurança jurídica		Metas de redução de emissões
	Falta de instituições que demandem e monitorem investimentos em eficiência energética		Estabelecimento de padrões (energia e emissões)
	Dificuldade em elaborar estudos de viabilidade técnica e financeira		Auditorias energéticas obrigatórias para acesso ao crédito em bancos públicos
	Falta de conhecimento de novas tecnologias e processos		<b>Criação de um Selo de Eficiência Energética Industrial</b>
	Falta de transparência e divulgação dos dados dos programas de eficiência energética		<b>Consolidação e disseminação de tecnologias de Baixo Carbono</b>
			<b>Realização de atividades de treinamento e campanhas de conscientização sobre a adoção de tecnologias-chave de baixo carbono</b>
Substituição de combustíveis fósseis por energia renovável ou combustíveis alternativos	<b>Regulamentos sobre a utilização de resíduos/cogeração</b>	R/I	<b>Regulamentação para incentivo do uso de resíduos como fonte de energia</b>
	Maior complexidade para preenchimento do manifesto de resíduos no caso de reaproveitamento de resíduos para processos industriais		Revisão do manifesto de resíduos para facilitar a reutilização de resíduos em usos industriais
	Conformidade com contratos		Elaborar contratos e seguros para fornecimento de matéria-prima
	<b>Falta de garantia de fornecimento de matéria-prima</b>		<b>Melhorias regulatórias de promoção à reciclagem</b>
	Adoção ou não de medidas mais sustentáveis não influencia muito do processo de licenciamento		<b>Criação de Selos de origem para lenha de florestas energéticas</b>
Novas matérias-primas	Resistência a mudanças nas práticas de produção	R/I	<b>Consolidação e disseminação de tecnologias de Baixo Carbono</b>
	Falta de credibilidade e conhecimento		<b>Realização de atividades de treinamento e campanhas de conscientização sobre a adoção de tecnologias-chave de baixo carbono</b>
	Maior complexidade para preenchimento do manifesto de resíduos no caso de reaproveitamento de resíduos para processos industriais		Revisão do manifesto de resíduos para facilitar a reutilização de resíduos em usos industriais

Medidas de mitigação	Barreiras Identificadas	Tipo de barreira	Propostas de Instrumentos de Política
	Complexidade logística para adoção da reciclagem		Financiamento de P&D
	<b>Regulamentos sobre o uso de resíduos</b>		Construindo Capacidade Técnica
	Conformidade com contratos		<b>Melhorias regulatórias promovendo a reciclagem</b>
	<b>Falta de garantia de fornecimento de matéria-prima</b>		Criação de Selos de origem para lenha de florestas energéticas
	Adoção ou não de medidas mais sustentáveis não influencia muito do processo de licenciamento		Diferenciar o processo de licenciamento ambiental para indústrias com medidas mais sustentáveis
	Questões fundiárias para a expansão das florestas plantadas		Promover maior integração do planejamento industrial com o planejamento florestal
Substituição de gases industriais de alto GWP	Resistência dos produtores em mudar o produto	R/I	<b>Estabelecimento de padrões</b>
	<b>Ausência de regulamentação incentivando novos produtos</b>		Criar um regulamento para incentivar novos produtos ou proibir produtos antigos
	Custos mais altos de refrigerantes de baixo impacto	E/F	Capacitação
	Custos com substituição/atualização de equipamentos convencionais por outros que suportam refrigerantes de baixo GWP		<b>Estabelecimento de padrões</b>
			Regulamentação incentivando novos produtos ou proibindo produtos antigos

Fonte: Autores

#### 4.1. Linha de Crédito para Eficiência Energética

A eficiência energética pode reduzir as emissões no setor industrial. No entanto, os entraves financeiros são uma das principais preocupações das empresas do setor. A criação de linhas de crédito específicas para eficiência energética no setor industrial poderia ajudar a promover essa medida de mitigação. Já existem linhas de crédito para eficiência energética no Brasil, mas elas focam em equipamentos elétricos ou na inserção de geração renovável de eletricidade. É importante abordar o apoio financeiro a projetos que visam a melhoria da eficiência energética em processos e equipamentos que consomem combustíveis fósseis.

Um exemplo típico de uma linha de crédito de eficiência energética começa com o doador, que pode ser uma Instituição Financeira Internacional (por exemplo, Banco Interamericano de Desenvolvimento) ou o Governo. Eles fornecem fundos para instituições financeiras locais que irão emprestar para projetos de eficiência energética. Assistência técnica e especialistas apoiam o governo e as instituições financeiras locais para fornecer orientação sobre projetos e equipamentos de eficiência energética (Banco Mundial, 2014; Wu et al., 2018).

O sucesso da linha de crédito dependeria da participação e aprovação das instituições financeiras que promoveriam a linha de crédito. Também dependeria da participação das empresas privadas, que deverão ser instruídas quando o projeto for aprovado, para adquirir a linha de crédito.

O Brasil já possui uma estrutura financeira para apoiar projetos de mitigação de emissões. O Fundo Clima é um fundo de financiamento de estudos e projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa ou de adaptação às mudanças climáticas. O BNDES e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) são os responsáveis pela gestão. O

Fundo Clima possui nove subprogramas financeiros: (i) mobilidade urbana; (ii) Cidades sustentáveis; (iii) Máquinas e equipamentos eficientes; (iv) Energia renovável; (v) Resíduos sólidos; (vi) Carvão vegetal; (vii) Mata Nativa; (viii) Serviços e gestão de carbono; e (vii) projetos inovadores. No entanto, nenhum desses subprogramas tem como foco projetos de baixo carbono no setor industrial (BNDES, 2020).

#### 4.2. Desburocratização do Acesso ao Crédito para Medidas de Baixo Carbono

Outro importante instrumento financeiro é a desburocratização do acesso ao crédito para medidas de baixo carbono. Apesar dos juros altos, a segunda grande dificuldade para as empresas acessarem o crédito é o nível de garantias reais e o processo lento e burocrático. Portanto, simplificar as exigências de garantia impostas pelas instituições financeiras é um importante instrumento para facilitar o acesso ao crédito. Além disso, a criação de diretrizes para crédito aprimora o processo financeiro devido à padronização de processos e informações.

#### 4.3. Precificação de Carbono

A precificação do carbono é um mecanismo para impulsionar o comportamento econômico ao capturar os custos externos das emissões de gases de efeito estufa. No geral, existem dois tipos de mecanismos políticos chave: (i) imposto sobre o carbono e (ii) Sistemas de Comércio de Emissões (ETS). A taxa de carbono compreende um preço pago pelo GEE emitido. O ETS estabelece um limite para as emissões de um determinado setor e permite que empresas com emissões mais baixas vendam suas licenças para empresas que excedam seus limites de emissões. O setor industrial brasileiro estabeleceu sua preferência pelo SCE. Segundo a Confederação Nacional da Indústria, o SCE promove a inovação e a competitividade sem aumentar a carga tributária (CNI, 2021). Para mais informações sobre Carbon Pricing e ETS, veja o capítulo Finanças.

#### 4.4. Criação de um Selo de Eficiência Energética Industrial

A criação de uma certificação de eficiência energética industrial, como o Energy Star, poderia ser implantada para incentivar as melhores práticas e equipamentos do setor. O Brasil já possui um selo para equipamentos de eficiência energética. No entanto, considera apenas equipamentos elétricos.

#### 4.5. Consolidação e Disseminação de Tecnologias de Baixo Carbono

De acordo com Pigato et al. (2020), a implantação de tecnologias de baixo carbono (LCT) existentes poderia reduzir em dois terços as reduções de emissões necessárias até 2030. Isso mostra como a barreira de acesso a informações e tecnologias é relevante, principalmente em países de baixa renda. Portanto, facilitar o acesso a essas tecnologias é uma forma de ampliar o leque de opções de mitigação para as indústrias.

A transferência de tecnologia pode ser facilitada pela formação de capital humano e institucional, apoiando o investimento em LCT por meio de mecanismos de mitigação de risco e introduzindo políticas que apoiem a adoção de LCT. A aplicação dessas políticas dependeria de ações governamentais, com a participação do MCTI, de instituições financiadoras, de institutos de pesquisa e das próprias empresas.

#### 4.6. Realização de Atividades de Treinamento e Campanhas de Conscientização Sobre a Adoção de Tecnologias-Chave de Baixo Carbono

As atividades de treinamento e campanhas visam a divulgação de LCTs como o instrumento anterior. No entanto, neste caso, o objetivo não é superar barreiras financeiras e políticas, mas barreiras comportamentais. Segundo o MCTIC & ONU Meio Ambiente (2017), a falta de conhecimento sobre novas tecnologias e processos somada à uma aversão cultural em mudar as práticas, podem ser apontadas como obstáculos para a implementação de estratégias de mitigação no setor industrial brasileiro (MCTIC & ONU Meio Ambiente, 2017).

#### 4.7. Regulamentação para Incentivo do Uso de Resíduos como Fonte de Energia

A criação de regulamentações que incentivem o uso de resíduos como fonte de energia pode beneficiar diversas indústrias. Uma das soluções para redirecionar os resíduos dos aterros para as indústrias é a implementação de uma taxa de aterro.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (NPRS), instituída pela Lei Federal n. 12.305/2010, recomenda que os municípios elevem a gestão de resíduos na chamada hierarquia, na parte inferior da qual está o aterro sanitário. No entanto, 98,46% dos resíduos coletados em 2019 tiveram a destinação menos recomendada pela legislação (aterro ou lixão) (Brasil, 2020). A adoção de um imposto sobre aterros sanitários poderia ajudar a afastar os resíduos dos aterros sanitários e incentivar alternativas de descarte ambientalmente preferíveis, como o coprocessamento. A criação de uma taxa de aterro sanitário deve ser analisada e implementada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Além disso, a taxa de aterro com taxa de resíduos, instituída em 2020 pelo Marco Legal do Saneamento Básico, poderia tornar o coprocessamento acessível aos municípios e aumentar a vida útil dos aterros sanitários. Assim, os municípios poderiam firmar contratos com as indústrias de cimento para a destinação mais adequada de parte de seus resíduos.

A criação de uma Taxa de Aterro exigirá uma equipe técnica para o desenvolvimento de aspectos ambientais e potenciais energéticos; uma equipe jurídica para os aspectos regulatórios; e uma equipe econômica para estimar o valor do imposto.

Uma das indústrias que podem se beneficiar com a criação de uma taxa de aterro é a indústria de cimento. A utilização de combustíveis alternativos no processo produtivo reduz a quantidade de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa por apresentarem menor fator de emissão de CO<sub>2</sub>. Assim, emitem menos carbono para gerar a mesma quantidade de energia.

Cerca de 60% das fábricas integradas possuem fornos licenciados para coprocessamento de resíduos. Assim, menos da metade das fábricas teriam que se adaptar ao coprocessamento de resíduos. Com a produção de RDF pelas cimenteiras, algumas necessitarão estabelecer um sistema de coleta seletiva, triagem de materiais e processamento para tornar o resíduo (RSU) incinerável.

De acordo com o SNIC (2019), considerando as características atuais dos setores de cimento e resíduos, espera-se que os primeiros projetos utilizando CDR ocorram nas regiões sudeste e sul, seguidas pelas regiões centro-oeste, nordeste e norte. Isso se explica pelo fato de a região sudeste abrigar 53% dos resíduos coletados no Brasil e

cerca de 38% das fábricas dentro dos critérios viáveis para implantação do CDR. A região nordeste abriga 22% dos resíduos coletados no Brasil e 19% das fábricas dentro dos critérios viáveis. A região sul abriga 11% dos resíduos coletados e 19% de fábricas viáveis. A região centro-oeste abriga 8% dos resíduos coletados e 19% de fábricas viáveis. Por fim, a região norte abriga 6% dos resíduos coletados e 5% de fábricas viáveis.

Algumas outras ações podem ser desenvolvidas para aumentar a utilização de resíduos como fonte de energia na indústria cimenteira, tais como: Subsídios ao transporte de resíduos destinados ao coprocessamento; Benefícios fiscais e trabalhistas para minimizar os custos de transporte; Fortalecimento/Incentivo à criação de cooperativas de triagem e catadores; Campanhas de conscientização com formuladores de políticas públicas, planejadores urbanos e usuários atuais e potenciais.

#### 4.8. Melhorias Regulatórias de Promoção à Reciclagem

O sistema tributário atual tem um efeito cumulativo sobre os materiais reciclados. Devido à sua cadeia produtiva, os materiais reciclados têm mais impostos cumulativos do que os materiais virgens. Portanto, eliminar o aspecto cumulativo do sistema tributário pode aumentar a reciclagem do Brasil (CNI, 2018). Outra melhoria pode ser feita eliminando a necessidade de declarar um valor na fatura. Às vezes, o material reciclado só tem valor após o processo de separação.

#### 4.9. Criação de Selos de Origem para Lenha de Florestas Energéticas

O desmatamento é uma das principais preocupações no Brasil, por isso é importante diminuir o uso de florestas nativas como fonte de energia no setor industrial. No entanto, este não é um objetivo simples de alcançar, especialmente considerando a grande extensão territorial do país e as limitações associadas às inspeções.

Atualmente, o transporte e armazenamento de produtos florestais de origem nativa está vinculado à emissão de uma licença: o Documento de Origem Florestal (DOF), instituído pela Portaria nº 253/2006 do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (IBAMA, 2016).

No caso da lenha de florestas energéticas, a existência de um selo garantindo a origem do material poderia diminuir o uso de florestas nativas e estimular as empresas a investirem em florestas energéticas (MCTIC e ONU Meio Ambiente, 2017).

#### 4.10. Estabelecimento de Normas para a Substituição de Gases com Alto GWP

O estabelecimento de normas para equipamentos que utilizam gases de alto GWP pode ser uma forma de incentivar as opções de baixo GWP em refrigeradores e condicionadores de ar. Além disso, uma regulamentação que proíba novos equipamentos que utilizem gases de alto GWP é um importante instrumento para reduzir as emissões no uso de produtos (Comissão Europeia, 2016).

Em relação à regulamentação no Brasil, o país é signatário do Protocolo de Montreal e a Emenda de Kigali foi aprovada no país em 5 de agosto de 2022. O Brasil precisa agora depositar a documentação legal necessária na

ONU para entrar na lista de países que já aderiram ratificou a Emenda e usufrui de seus benefícios (Kigali Network, 2022).



## 5. Referências

- ACEEE. (2018). The 2018 International Energy Efficiency Scorecard. American Council for an Energy-Efficient Economy, June, 125. <https://doi.org/Report Number E1602>
- Barroso, L. A., Kelman, R., & Gaspar, L. de S. (2020). Panorama e Perspectivas para o Gás Natural no Brasil. Editora Brasil Energia, 1–58.
- Bataille, C., Åhman, M., Neuhoff, K., Nilsson, L. J., Fishedick, M., Lechtenböhmer, S., Solano-Rodriguez, B., Denis-Ryan, A., Stiebert, S., Waisman, H., Sartor, O., & Rahbar, S. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. *Journal of Cleaner Production*, 187, 960–973. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.107>
- Bataille, C., Waisman, H., Briand, Y., Svensson, J., Vogt-Schilb, A., Jaramillo, M., Delgado, R., Arguello, R., Clarke, L., Wild, T., Lallana, F., Bravo, G., Nadal, G., le Treut, G., Godínez, G., Quiros-Tortos, J., Pereira, E., Howells, M., Buira, D., ... Imperio, M. (2020). Net-zero deep decarbonization pathways in Latin America: Challenges and opportunities. *Energy Strategy Reviews*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100510>
- BNDES. (2020). Fundo Clima. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima>
- BNDES. (2022a). BNDES Finame - Baixo Carbono. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/>
- BNDES. (2022b). BNDES Finem - Meio Ambiente - Eficiência Energética. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-eficiencia-energetica>
- Brasil. (2020). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019.
- CNI. (2021). CNI apoia regulamentação de mercado de carbono no Brasil - Agência de Notícias da Indústria. <https://noticias.portaldaindustria.com.br/posicionamentos/cni-apoia-regulamentacao-de-mercado-de-carbono-no-brasil/>
- EPE. (2018a). Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Selecionados.
- EPE. (2018b). Análise Da Eficiência Energética Em Segmentos Industriais Selecionados - Apresentação dos principais resultados do Projeto. <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/projeto-de-assistencia-tecnica-dos-setores-de-energia-e-mineral-projeto-meta>
- EPE. (2021). Balanço Energético Nacional.
- Eurofer. (2013). A Steel Roadmap for A Low Carbon Europe. In Eurofer. [http://www.nocarbonation.net/docs/roadmaps/2013-Steel\\_Roadmap.pdf](http://www.nocarbonation.net/docs/roadmaps/2013-Steel_Roadmap.pdf)
- European Commission. (2016). Fluorinated greenhouse gases. <http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/>
- Griffiths, S., Sovacool, B. K., Kim, J., Bazilian, M., & Uratani, J. M. (2021). Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. *Energy Research and Social Science*, 80(July), 102208. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208>
- GVces. (2016). IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO INDÚSTRIA DE BAIXO CARBONO PROPOSTAS DE FOMENTO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA RELATÓRIO COMPLETO CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DAFUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (GVces / FGV-EAESP).
- Hasanbeigi, A., Morrow, W., Sathaye, J., Masanet, E., & Xu, T. (2013). A bottom-up model to estimate the energy efficiency improvement and CO<sub>2</sub> emission reduction potentials in the Chinese iron and steel industry. *Energy*, 50(1), 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.062>
- IABR. (2021). Anuário Estatístico 2021. [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/07/Anuario\\_Completo\\_2021.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/07/Anuario_Completo_2021.pdf)
- IBAMA. (2016). Documento de Origem Florestal. <http://www.ibama.gov.br/flora-e-madeira/dof/o-que-e-dof>
- IEA. (2019). The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Proposed Documents for the Japanese Presidency of the G20, June, 203.
- IEA. (2020a). Energy Technology Perspectives 2020. <https://doi.org/10.1787/ab43a9a5-en>
- IEA. (2020b). Iron and Steel Technology roadmap : Towards more sustainable steelmaking. 3, 190. [www.iea.org](http://www.iea.org)

- Karakaya, E., Nuur, C., & Assbring, L. (2018). Potential transitions in the iron and steel industry in Sweden: Towards a hydrogen-based future? *Journal of Cleaner Production*, 195, 651–663. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.142>
- la Rovere, E. L., Dubeux, C. B. S., Wills, W., Walter, M. K. C., Napolini, G., Hebeda, O., Gonçalves, D. N. S., Goes, G. v, Agosto, M. D., Nogueira, E. C., Cunha, H. F., Gesteira, C., Treut, G. le, Cavalcanti, G., & Bermanzon, M. (2021). Policy Lessons on Deep Decarbonization in Large Emerging Economies, Brazil (Issue November).
- Mathur, S., Gosnell, G., Sovacool, B. K., Furszyfer, D. D., Rio, D., Griffiths, S., Bazilian, M., & Kim, J. (2022). Industrial decarbonization via natural gas : A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. *Energy Research & Social Science*, 90(February), 102638. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102638>
- McKinsey. (2018). Decarbonization of industrial sectors: the next frontier. McKinsey & Company, June, 68. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business Functions/Sustainability and Resource Productivity/Our Insights/How industry can move toward a low carbon future/Decarbonization-of-industrial-sectors-The-next-frontier.ashx>
- MCTIC, & ONU Meio Ambiente. (2017). Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Setores-Chave do Brasil.
- Ozone Secretariat. (2016). The Kigali Amendment (2016): The amendment to the Montreal Protocol agreed by the Twenty-Eighth Meeting of the Parties (Kigali, 10-15 October 2016). <http://ozone.unep.org/en/handbook-montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer/41453>
- Pigato, M., Black, S., Dussaux, D., Mao, Z., McKenna, M., Rafaty, R., & Touboul, S. (2020). Technology Transfer and Innovation for Low-Carbon Development (Internatio). The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1500-3>
- Pinto, R. G. D., Szklo, A. S., & Rathmann, R. (2018). CO<sub>2</sub> emissions mitigation strategy in the Brazilian iron and steel sector- From structural to intensity effects. *Energy Policy*, 114(June 2017), 380–393. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.040>
- Rede Kigali (2022). EMENDA DE KIGALI. <https://kigali.org.br/emenda-de-kigali/>
- Rochedo, P. R. R., Costa, I. V. L., Império, M., Hoffmann, B. S., Merschmann, P. R. D. C., Oliveira, C. C. N., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2016). Carbon capture potential and costs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 131, 280–295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.033>
- SNIC. (2019). Roadmap tecnológico do cimento.
- The World Bank. (2014). Designing Credit Lines for Energy Efficiency.
- Unterstell and La Rovere (2021). Climate and Development: Visions for Brazil 2030. Available at: <[www.climaesociedade.org](http://www.climaesociedade.org)>. Accessed on 01 January 2022.CNI. (2018). Economia circular: o uso eficiente dos recursos.
- Worrell, E., Blinde, P., Neelis, M., Blomen, E., & Masanet, E. (2010). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U. S. Iron and Steel Industry.
- Worrell, E., & Boyd, G. (2022). Bottom-up estimates of deep decarbonization of U.S. manufacturing in 2050. *Journal of Cleaner Production*, 330(November 2021), 129758. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129758>
- Worrell, E., & Galitsky, C. (2008). Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for cement making. Ernest Orlando Lawrence. Berkeley National Laboratory. Na Energy Star Guide for Energy and Plant Managers. Environmental Energy Technologies Division.
- Wu, Y., Singh, J., & Tucker, D. K. (2018). Financing Energy Efficiency, Part 2: Credit Lines. Financing Energy Efficiency, Part 2: Credit Lines. <https://doi.org/10.1596/30386>

## Apêndice 1 – Instrumento Proposto: Programa de Financiamento de Eficiência Energética para a Indústria

A redução do consumo específico é uma das principais medidas para mitigar as emissões de GEE. No entanto, os custos de investimento dessas tecnologias são a principal barreira. As emissões provenientes do consumo de energia representam 42% do total emitido pela indústria no Brasil. Segundo Unterstell e La Rovere (2021), medidas de eficiência energética podem reduzir as emissões de GEE em 5,4% até 2030 e 14% até 2050, das tecnologias, acesso ao crédito e custo.

Este projeto criará um programa financeiro para melhorar os investimentos em eficiência energética na indústria brasileira. Consiste na criação de uma linha de crédito específica para eficiência energética na indústria pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com o apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE)/Ministério de Minas e Energia (MME) para promoção e monitoramento da eficiência energética os resultados. O BNDES é uma empresa pública vinculada ao Ministério da Economia que visa investir na economia brasileira, com foco no longo prazo. A EPE também é uma empresa pública com o objetivo de apoiar o MME, fornecendo pesquisas e estudos sobre planejamento energético no Brasil. O BNDES pode criar a linha de crédito por decisão da diretoria.

O BNDES possui uma carteira diversificada de linhas de crédito para projetos industriais ou ambientais. **BNDES - FINEM** é uma linha de crédito destinada a financiar investimentos para melhoria da capacidade produtiva (BNDES, 2022b). Possui subprogramas específicos para eficiência energética, mudanças climáticas e energia limpa. Todos os fornecedores de equipamentos devem requerer o credenciamento junto ao Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial e PROCEL. As taxas de juros são iguais à Taxa Longa de Prazo (TLP), que equivale a IPCA+4,99% ao ano, mais a taxa do BNDES (1,05% ao ano) e a taxa da instituição financeira, negociada entre o banco local e o cliente.

**BNDES - Finame** é uma linha de crédito para aquisição de máquinas e equipamentos previamente credenciados no sistema bancário (BNDES, 2022a). Possui um subprograma denominado Baixo Carbono, uma linha de crédito para aquisição de equipamentos ou maquinários que possam contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. As taxas de juros são iguais à TLP mais a taxa do BNDES (0,95% ao ano) e à taxa das instituições financeiras locais, não superior a 3,5% ao ano. Todos os produtos devem ser novos, produzidos no Brasil e credenciados no sistema BNDES (CFI).

**BNDES - Meio Ambiente** possui linhas de crédito específicas para eficiência energética, mudanças climáticas e energia limpa (BNDES, 2022b). O **BNDES - Fundo Clima** tem por objetivo “apoiar a implantação de projetos, a aquisição de equipamentos e maquinários e o desenvolvimento tecnológico relacionado à redução de gases de efeito estufa”. Todas as linhas de crédito exigem que os equipamentos ou máquinas objeto de financiamento sejam nacionais e cadastrados no sistema bancário.

As linhas de crédito existentes para eficiência energética ou tecnologias de baixo carbono não são exclusivas do setor industrial e focam equipamentos de consumo elétrico. O foco no setor industrial evitará a competição por crédito entre os setores. Por exemplo, os projetos de painéis solares consumiram todos os recursos do 'Fundo Clima - Máquinas Eficientes' (R\$ 560 milhões ou US\$ 140 milhões) (GVces, 2016). Além disso, as principais indústrias de emissão de processos são intensivas no consumo de combustíveis fósseis. Por isso, investir em tecnologias de eficiência energética diferentes dos equipamentos de consumo elétrico é fundamental.

### **Objetivo do projeto**

O objetivo do projeto é reduzir as emissões de GEE na indústria por meio de um programa de eficiência energética. Consiste na criação de uma linha de crédito específica para as medidas de eficiência energética no setor, bem como na divulgação de informações e diálogo político. Também podemos destacar como objetivos complementares a promoção do desenvolvimento sustentável e a melhoria da competitividade e produtividade da indústria brasileira.

### **Parceiros**

Os principais parceiros deste projeto são: (i) o BNDES e as instituições financeiras locais que fornecerão o capital e o suporte para viabilizar os investimentos, (ii) o Gabinete de Pesquisas Energéticas com (iii) o Ministério de Minas e Energia, que fornece suporte na elaboração da linha de crédito, diálogo político e disseminação de informações, monitoramento da energia e emissões mitigadas, (iv) empresas do setor que irão adquirir os equipamentos e serviços, e (v) fornecedores de equipamentos e serviços.

### **Beneficiários do projeto**

Os principais beneficiários do projeto são: (i) as instituições financeiras locais responsáveis por fornecer os empréstimos, (ii) as indústrias através da redução dos custos de energia e da dependência de combustíveis fósseis, e (iii) ESCOs que podem fornecer serviços de energia economia para as empresas do setor. Como beneficiário indireto, podemos citar o próprio país pela redução dos impactos ambientais ligados à produção e consumo de combustíveis fósseis. Além disso, há também o benefício da redução dos riscos de desabastecimento, como observado nos últimos anos com a Covid-19 e a guerra russo-ucraniana.

### **Indicadores de projeto**

Para acompanhar os resultados do projeto, propomos três indicadores-chave: (i) economia de energia, em MegaJoules (MJ) por ano, (ii) quantidade de GEE mitigado, em t CO<sub>2</sub>e, dos investimentos em eficiência energética, (iii) o montante de investimento previsto para projetos de eficiência energética.

### **Descrição do projeto**

O projeto consiste em quatro componentes principais. O primeiro componente diz respeito aos investimentos em eficiência energética que irão criar a linha de crédito e dar suporte às instituições financeiras. O segundo componente é a assistência prestada às instituições financeiras participantes. O terceiro componente

compreende a promoção de tecnologias de eficiência energética e a promoção do diálogo político sobre eficiência energética. Por fim, o quarto componente monitorará e verificará a quantidade de energia economizada e as emissões mitigadas pelo projeto.

### **Escopo do projeto**

O escopo do programa deve ser as indústrias de transformação. Eles podem ser fragmentados em (i) Ferro e Aço, (ii) Cimento, (iii) Químico, (iv) Liga de Ferro, (v) Não Ferroso, (vi) Cerâmico, (vii) Têxtil, (viii) Alimentos e bebidas, (ix) Papel e Celulose, (x) Mineração e Pelotização, (xi) e outras indústrias.

As instituições financeiras do programa podem ser divididas em duas. O primeiro é o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o banco público federal que concede financiamento de longo prazo para promover o desenvolvimento nacional. A segunda são as instituições financeiras locais que fariam o pagamento ao fornecedor de tecnologia de eficiência energética e receberiam o requisito financeiro. Atualmente, são mais de 60 instituições financeiras locais credenciadas pelo BNDES.

**Componente 1** – Empréstimos para Investimento em Eficiência Energética. Pode ser concebido como mais um subprograma do BNDES FINAME nos mesmos moldes do Baixo Carbono ou do Fundo Clima. O BNDES concede empréstimos a instituições financeiras locais a uma taxa fixa de 0,95-1,05% ao ano. As instituições financeiras locais definem suas taxas de juros com base nas condições de mercado para cobrir os custos e gerar lucro. No entanto, o BNDES pode estabelecer um limite da mesma forma que o Baixo Carbono (3,50 - 4,99%).

Um dos principais diferenciais da nova linha de crédito é a isenção do credenciamento das tecnologias no sistema BNDES (CFI). Os projetos financiáveis devem ser quaisquer daqueles que possam melhorar a eficiência energética da instalação industrial, reduzindo as emissões de GEE. A modalidade de financiamento pode ser a mesma do BNDES FINAME. Considerando os resultados nos DDP BIICs, o investimento necessário é de aproximadamente \$ 10.000 milhões até 2030 para reduzir 40 Mt CO<sub>2</sub>e. No entanto, dois subsetores industriais importantes, aço e cimento, representam 62% desse total de emissões evitadas com um investimento de apenas US\$ 1.000.

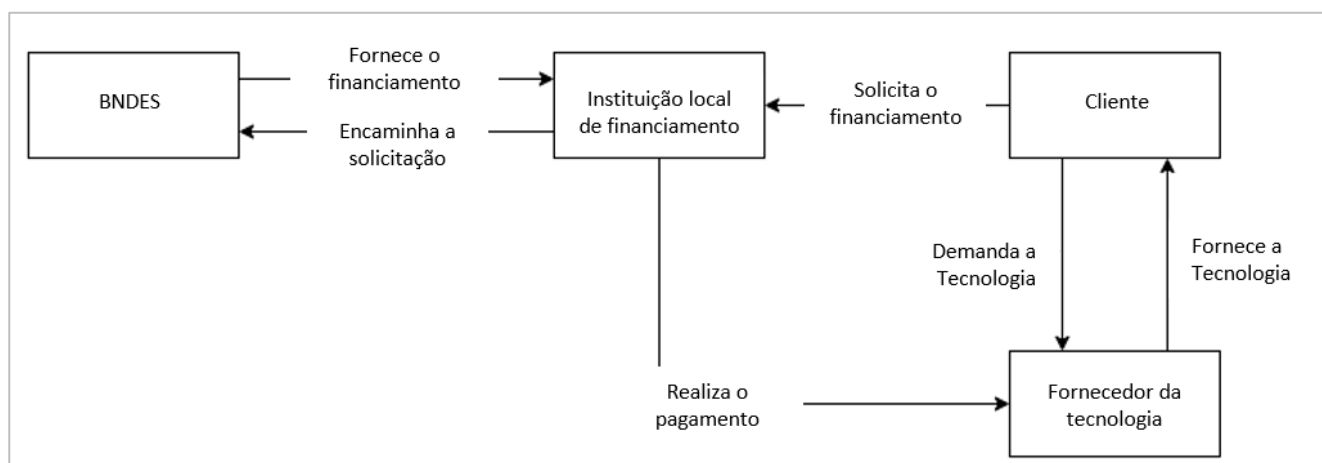


Figura 3. Esquema de financiamento

**Componente 2** - Auxílio às instituições financeiras participantes: o programa auxiliará as instituições financeiras por meio (i) da criação e organização do negócio de empréstimo de eficiência energética; (ii) desenvolvimento de instrumentos de financiamento relacionados à conservação de energia e ferramentas de gestão de risco; (iii) desenvolver workshops para apresentação de cases de sucesso dos projetos apoiados pelas instituições financeiras para promover a eficiência energética.

**Componente 3** - Divulgação de informação. O programa de financiamento de eficiência energética fornecerá (i) diálogo com as partes interessadas, (ii) estudos, avaliações, conscientização, treinamento e outras informações sobre a disseminação de eficiência energética e suas tecnologias.

**Componente 4** - Monitoramento e verificação da conservação de energia e redução de emissões: o programa apoiará a implementação do monitoramento e verificação da conservação de energia dos subprojetos financiados pelas instituições financeiras.

### **Resultados esperados**

A criação de uma linha de crédito para eficiência energética na indústria trará benefícios de curto e médio prazo, como a redução do consumo de energia por meio da implementação de tecnologias energeticamente eficientes e a mitigação das emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis como fonte de energia. Muitas medidas de eficiência energética podem resultar em economia no processo produtivo, melhorando a competitividade da indústria brasileira. Além disso, a redução do consumo específico diminui a dependência dos combustíveis fósseis e suas flutuações de preço, aumentando a segurança da produção.

Esses investimentos em tecnologias e serviços de eficiência energética podem gerar empregos diretos e indiretos. Os investimentos em eficiência energética exigirão construção, projetos de modernização ou consultoria de trabalhadores. Empregos indiretos são criados na cadeia de suprimentos para suportar os investimentos necessários.

## Apêndice 2 – Oportunidades de Investimento

### A2.1. Oportunidade de Investimento 1 – Eficiência Energética no Setor Industrial Brasileiro

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
1	Título da atividade de projeto (PA)	Eficiência energética no setor industrial brasileiro
2	Escala da atividade do projeto	Pode ser de pequena ou grande escala, dependendo do tamanho do projeto. A definição de pequena escala é do Clean Mechanism Development (CDM): "as atividades do projeto, também conhecidas como outras atividades do projeto, devem ser limitadas àquelas que resultam em reduções de emissão menores ou iguais a 60 kt CO <sub>2</sub> equivalente anualmente."
3	Localização da atividade do projeto	Nacional
4	Tecnologia / serviço / outros	Reducing energy consumption by improving energy efficiency is one of the pathways to reducing emissions in these sectors. The project activity involves the adoption of energy efficiency measures. There are many options for the industry sector to reduce its specific consumption. Heat Recovery, Process Control, and Optimization are examples of measures that can be applied in all industries. Specific measures also can improve energy efficiency. We can highlight Natural Gas Injection and Coke Dry Quenching for iron and steel production. For cement production, increase the number of stages of pre-heaters. Table 3 contains a list of some of the efficiency measures that can be adopted in different industries.
5	Setor econômico	Industrial e Manufatura
6	Redução média anual de emissões de GEE (t CO <sub>2</sub> e)	A média anual de emissões evitadas de GEE chegaria a 10,3 Mt CO <sub>2</sub> e/ano a partir de 2030
7	Data	Esta planilha de projeto foi escrita em outubro de 2021. A data de início da atividade do projeto exigiria o desenvolvimento de uma linha de crédito por uma instituição financeira.
8	Informações de Contato	Primeiro representante: Otto Hebeda, Pesquisador, Centro Clima/Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro Dados de contato do primeiro representante: ottohebeda@ppe.ufrj.br / +55 21 99390-6680  Segunda representante: Bruna Guimarães, Pesquisadora, Centro Clima/Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro Dados de contato do segundo representante: brunasvg@ppe.ufrj.br / +55 21 96528-0380
II. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO		
1	Descrição do projeto	O setor industrial reúne uma ampla gama de produtos e processos. O cimento e o aço destacam-se no consumo de energia e nas emissões. No Brasil, esses setores respondem por metade das emissões da indústria. Com a crescente preocupação com a produção mais limpa, o setor está focando em tecnologias energeticamente eficientes. As medidas de eficiência energética reduzem diretamente o consumo e a demanda de energia da instalação. A redução da demanda de energia corresponde à redução da queima de combustível fóssil, o que implica uma redução nas emissões de GEE, uma redução nas emissões de transporte de combustível e mineração e uma redução na carga poluente. O objetivo básico desta atividade de projeto é reduzir o consumo específico de energia através da implementação de tecnologias energeticamente eficientes. Como o objetivo do projeto é melhorar a eficiência energética no setor industrial, não focamos em uma única tecnologia. Em vez disso, olhamos para o potencial geral do setor. Portanto, a melhoria da eficiência energética está relacionada à implementação de um conjunto de tecnologias e não de uma. A produção de aço e cimento são as principais fontes de emissões do setor industrial. As principais partes interessadas do projeto são: -Uma equipe técnica composta por fornecedores de equipamentos, usuários finais (empresas) e outros especialistas para selecionar os equipamentos e processos que o projeto deve contemplar.

		-Uma equipe financeira para a elaboração da linha de crédito considerando os aspectos técnicos e padrões
2	Características chave da tecnologia	Veja a Tabela 3.
3	Descrição técnica da medida de mitigação	<p>O projeto visa reduzir os consumos específicos nos segmentos industriais através da implementação de medidas de eficiência energética. Uma ampla gama de tecnologias diminui o consumo específico para cada segmento industrial (por exemplo, aço, cimento, químico). A Tabela 3 lista 18 medidas de eficiência energética para o setor industrial, com destaque para a produção de aço e cimento. A lista mostra apenas as tecnologias de eficiência energética já desenvolvidas e utilizadas pelo setor industrial. Estudos MCTIC &amp; ONU, DDP BIICS e IES Brasil mostram o potencial de mitigação de muitas dessas tecnologias.</p> <p>Para informações mais detalhadas sobre essas medidas de eficiência energética, consulte Worrel 2010 para a indústria siderúrgica e Worrel 2013 para a indústria de cimento.</p> <p>O projeto DDP BIICS estudou o caminho net-zero para a economia brasileira. Para estimar a quantidade de emissão mitigada, desenhamos um cenário de linha de base. Primeiro, projetamos o nível de atividade da indústria. O aumento da produção dos principais segmentos industriais entre 2020-2030: 2,4% para a siderurgia; 13% para a indústria cimenteira; 2,1% para a indústria química. O segundo passo é considerar a redução do consumo específico nas medidas de mitigação de acordo com o conjunto de tecnologias de eficiência energética da Tabela 3. No cenário de linha de base, foi considerado um pequeno aumento na eficiência energética: Cimento: 0,6%; Químico: 1,2%; Papel e Celulose: 0,7%; Restante da indústria: 0,8%. Como resultado, 5% das emissões na produção de aço podem ser mitigadas com medidas de eficiência energética até 2030 e 6% para a produção de cimento no mesmo período.</p>
4	Participantes do projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é um banco público federal responsável por financiamentos de longo prazo para contribuir com o desenvolvimento nacional.</li> <li>- A Secretaria de Pesquisas Energéticas (EPE), empresa estatal vinculada ao Ministério de Minas e Energia que apoia o governo com pesquisas e estudos sobre planejamento energético.</li> <li>- Empresas do setor com o objetivo de introduzir equipamentos e/ou processos de eficiência energética e baixo carbono.</li> </ul>
5	Potencial de redução de emissões de GEE	A média anual de emissões evitadas de GEE chegaria a 10,3 Mt CO <sub>2</sub> e /ano até 2030 (Tabela 4).
6	Mercado-alvo e potencial	Esta ação de mitigação pode ser implementada em qualquer indústria com potencial para reduzir o consumo específico de energia por meio da implementação de tecnologias de eficiência energética. Não inclui a eficiência energética no consumo de eletricidade, uma vez que a matriz elétrica brasileira já possui 85% de energia renovável, e o país já possui linhas de crédito para o consumo de eletricidade.

### III. FINANCIAMENTO DO PROJETO

1	Principais detalhes do financiamento do projeto/financiamento estruturado	<p>O custo total do investimento varia de acordo com o segmento industrial e a tecnologia adotada. Este projeto não contempla uma configuração específica de tecnologias de eficiência energética, mas sim a adoção de alguma ou de um conjunto de tecnologias. Os custos irão variar de acordo com as medidas a serem implementadas em cada uma das indústrias. A Tabela 3 contém os valores médios. Os custos de investimento na produção de aço podem variar entre 1,4 \$/t de aço a 115 \$/t de aço. O investimento situa-se entre 0,2 e 16 \$/t cimento para produção de cimento.</p> <p>O estudo DDP BIICS mostra o nível de investimento necessário para atingir as metas de redução de emissões para chegar a zero líquido em 2050. O investimento em medidas de eficiência energética para o setor industrial varia entre 1 milhão a 25 milhões de dólares. Segundo o DDP BIICS, o investimento total necessário em 2030 é equivalente a 340 milhões de dólares. Esse investimento pode reduzir a emissão da indústria em 9% (8 Mt CO<sub>2</sub>e).</p>
2	Fontes de financiamento	A fonte de financiamento pode vir do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O BNDES possui uma linha de crédito para aquisição de máquinas e equipamentos, BNDES FINAME. Os itens financiáveis devem ser nacionais e previamente cadastrados no sistema BNDES. O processo de aquisição de um empréstimo começa com a escolha da máquina ou equipamento a ser



		financiado. Em seguida, o comprador solicita o financiamento da instituição financeira parceira que encaminha o pedido ao BNDES para aprovação e liberação do valor. Em seguida, a instituição financeira local paga ao fabricante do equipamento, que libera o equipamento para o comprador. O BNDES Finame possui seis programas diferentes, dependendo do tipo de equipamento necessário. O BNDES pode financiar até 100% do projeto em prazos de até 10 anos. A taxa de juros compreende o custo financeiro, a taxa do BNDES e a taxa da instituição financeira local. As linhas de crédito do BNDES focaram em limites claros de produção: a taxa de juros das instituições financeiras para 3,5% e 0,95% para o Banco Nacional.
3	Créditos de carbono	Não se espera que o projeto seja (co-)financiado por meio de padrões de crédito de carbono.
4	Custo por tonelada de carbono (\$/t CO <sub>2</sub> e)	Os custos de mitigação são mostrados na Tabela 5.
5	Risco de financiamento	- O risco cambial pode afetar o preço dos equipamentos de eficiência energética - Estudos mal elaborados, levando a contas de poupança de energia equivocadas
6	Modelagem financeira	Este projeto não possui um modelo financeiro. Este é um modelo inicial.
7	Modelo de aquisição	Business;-to-business (B2B)
9	Fase do projeto	1. Desenvolvimento de conceito
10	Suporte de assistência técnica	Implementing the project depends on the financial institutions' participation and approval to promote the credit line. Also, it will depend on the participation of the private companies, which should be instructed when the project gets approved to acquire the credit line.

#### IV. BARREIRAS E RISCOS DO PROJETO

1	Barreiras e riscos do projeto	- Alto custo das medidas de eficiência energética - Competição com investimentos internos - Resistência à mudança de práticas - Falta de credibilidade e conhecimento
2	Condições de habilitação	- Acesso a financiamento/investidores - Linhas de crédito específicas para o setor da indústria com diretrizes padrão - Inovação - Condições de mercado
3	Desenvolvimento de políticas	A precificação do carbono é uma política importante para melhorar os investimentos em eficiência energética no setor industrial. Isso aumentaria a competitividade das tecnologias de eficiência energética. Além disso, a criação de uma linha de crédito específica para o setor industrial é importante no apoio financeiro.

#### V. INFORMAÇÕES E DOCUMENTOS ADICIONAIS

1	Benefícios e riscos sociais, econômicos e ambientais	A medida de mitigação pode: (i) promover a eficiência energética no setor industrial, apoiando os esforços governamentais nessa questão; (ii) melhorar a competitividade da indústria por meio da redução dos custos de produção; (iii) contribuir para a melhoria ambiental local, reduzindo o uso de óleo pesado, diminuindo a emissão de poluentes; (iv) melhorar as condições de trabalho existentes reduzindo o uso de óleo pesado, o que melhora a qualidade do ar e a exposição do pessoal a hidrocarbonetos gaseificados ao manusear o óleo pesado; (v) e contribuir para o desenvolvimento tecnológico e capacitação, uma vez que novas tecnologias e habilidades estão sendo transferidas para esta indústria; (vi) bem-estar econômico direto em termos de redução do gasto de energia; (vii) bem-estar econômico indireto para consultores, fornecedores de equipamentos e empreiteiros. Normalmente, a adoção de medidas de eficiência energética não tem grandes impactos ambientais, nem é necessária a realização de um Estudo de Impacto Ambiental. No geral, não há impactos ambientais negativos decorrentes da adoção de medidas de eficiência energética e trabalho de instrumentação tecnologicamente atualizados. As tecnologias são facilmente transportáveis e a instalação não requer grandes equipamentos de construção. As principais emissões que ocorrem durante a execução do projeto são o transporte das máquinas e instrumentos implantados. No entanto, considerando o ciclo de vida do projeto e os aspectos benéficos, tal emissão é insignificante. A substituição/atualização de máquinas e equipamentos pode inutilizar equipamentos antigos. Assim, é necessário descartar adequadamente o maquinário substituído, seja para reutilização, reciclagem ou descarte final. Os aspectos benéficos do projeto podem incluir: redução da conta de energia da
---	--	--

		empresa; Redução de gases de efeito estufa; Conservação de recursos primários; Desenvolvimento sustentável; Redução da demanda de energia.
2	Potencial transformacional	Considerando que todo o setor industrial pode se beneficiar com a criação de uma linha de crédito, ela pode ajudar a escalar a implementação da eficiência energética em todas as indústrias pesadas.
3	Aprovações/permissões regulatórias	As linhas de crédito para eficiência energética não necessitam de autorização especial para serem realizadas.
4	Consulta pública	A consulta aos stakeholders concretizou-se através de entrevistas online, realizadas ao longo da existência do projeto Decarboost. Nessas entrevistas, um dos principais pontos de concordância foi o alto custo de implementação de medidas de eficiência energética e o acesso a linhas de crédito. A criação de uma linha de crédito específica para eficiência energética no setor industrial poderia ajudar a superar essa barreira e destravar a adoção de equipamentos e processos menos intensivos em carbono.
5	Documentação chave e documentos de apoio	MCTIC & ONU MEIO AMBIENTE, 2017 – Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Setores-Chave do Brasil; Rovere et al. 2018 – Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil; EPE, 2018 – Análise Da Eficiência Energética Em Segmentos Industriais Selecionados; Worrel, 2013 – Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making Worrel, 2010 – Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U. S. Iron and Steel Industry; Worrel, 2007 – World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors

**Tabela 3. Medidas de eficiência energética**

Medidas de mitigação	Descrição	Potencial de mitigação	CAPEX (USD/t)	OPEX (USD/t)
<b>Indústria siderúrgica</b>				
Apagamento a seco do coque ou <i>coke dry quenching</i> (CDQ)	Resfriamento de coque usando gás inerte (por exemplo, nitrogênio) em planta de resfriamento a seco em vez de água pulverizada	0,37 GJ/t	87,3	4,4
Otimização dos compressores de gás de coqueria	Inversor de frequência para acionamento dos compressores de Gás de Coqueria	0,12 GJ/t	1,1	0,08
Recuperação de calor do resfriador de sinterização	Recuperação de calor dos gases de exaustão do processo de sinterização	0,55 GJ/t	11,2	0,5
Injeção de carvão pulverizado	A injeção de carvão pulverizado no alto-forno reduz o consumo de coque	0,57 GJ/t	18,5	0,9
Injeção de gás natural (GN)	A injeção de GN reduz o consumo de coque	0,9 GJ/t	18,1	0,9
Injeção de gás natural (GN) de aterros	GN produzido em aterros sanitários pode ser usado no alto-forno para reduzir o consumo de coque	0,9 GJ/t	18,1	0,9
Recuperação do gás de alto-forno	Durante a redução do minério de ferro ocorre a geração do gás de alto-forno que pode ser utilizado no pré-aquecimento ou para geração de energia	0,07 GJ/t	1,1	0,08
Recuperação de gás e calor do forno básico de oxigênio (BOF)	O gás do BOF pode ser queimado em caldeiras de recuperação ou tratado, resfriado e armazenado para ser utilizado em outros processos ou usinas de cogeração	0,55 GJ/t	82,3	4,1
Drivers de velocidade variável (VSD)	Uso de drivers de velocidade variável ( <i>Variable speed drivers – VSD</i> ) no BOF	0,33 GJ/t	1,8	0,9
<b>Indústria cimenteira</b>				
Múltiplos estágios	Aumentar o número de pré-aquecedores para até seis estágios pode atingir um consumo específico de 2,9 GJ/t clínquer	10%	12,2	0,6
Controle e otimização	Otimização da produção de clínquer, bem como automação, para reduzir o consumo de energia e a perda de calor	3,50%	0,15	0,008
Refratário em forno de produção de clínquer	Uso de melhor material isolante em fornos de clínquer evita a perda de calor	6,80%	0,23	11,4
Melhorias no sistema de combustão	O sistema de combustão pode ser melhorado para otimizar a chama, relação oxigênio/combustível e reduzir o excesso de ar	8,0%	0,76	0,038
Uso de aditivos na produção de cimento	O aumento do uso de aditivos (por exemplo, escória BF, cinzas volantes) na produção de cimento reduz a necessidade de produção de clínquer	15%	0,038	19,0

Medidas de mitigação	Descrição	Potencial de mitigação	CAPEX (USD/t)	OPEX (USD/t)
<b>Resto da indústria</b>				
Monitoramento e Manutenção de Caldeiras	Controle de excesso de ar, monitoramento do consumo de energia e manutenção podem reduzir o consumo de energia	2,50%	59,4	3,0
Recuperação de calor	O calor dos gases de escape da combustão pode ser reciclado para outros processos	11,80%	400	304
Queimador de baixo teor de NOx	Controle da mistura de ar e combustível, reduzindo a temperatura de pico da chama	8,55%	152	7,6
Sistema de recuperação de condensado	A instalação do sistema de recuperação de condensação pode reduzir o consumo de energia em 10%	5,0%	12.7145	6.358

**Tabela 4.** Emissões mitigadas pelas medidas de eficiência energética

Ano	Emissões mitigadas (Mt CO <sub>2</sub> e)
2021	0
2022	1,1
2023	2,3
2024	3,4
2025	4,6
2026	5,7
2027	6,9
2028	8,0
2029	9,2
2030	10,3

**Tabela 5.** Custos de mitigação

Segmento Industrial	Medida	Mitigação total em 2030	Custo de mitigação (USD/t CO <sub>2</sub> )
Alimentos e bebidas	Eficiência energética	0,7	-40
	Recuperação de calor	0,1	65

Segmento Industrial	Medida	Mitigação total em 2030	Custo de mitigação (USD/t CO <sub>2</sub> )
Papel e celulose	Recuperação de calor	0,1	-35
	Eficiência energética	0,3	5
Outras indústrias	Recuperação de calor	0,5	-20
	Eficiência energética	0,9	-16
Ferro e aço	Recuperação de calor	1	0
	Eficiência energética	2,1	0
Cimento	Eficiência energética	2,2	17
Não-ferrosos	Eficiência energética	0,7	93
	Recuperação de calor	0,2	121
Química	Eficiência energética	0,9	15
	Recuperação de calor	0,5	65

Nota: Valores em USD atualizados ao câmbio de 2020

## A2.2. Oportunidade de Investimento 2 – Aproveitamento de Resíduos como Fonte Alternativa de Energia na Indústria Cimenteira

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
1	Título da atividade de projeto (PA)	Aproveitamento de resíduos como fonte alternativa de energia na indústria cimenteira.
2	Escala da atividade do projeto	Pode ser de pequena ou grande escala, dependendo do tamanho do projeto. A definição de pequena escala é do Clean Mechanism Development (CDM): "as atividades do projeto, também conhecidas como outras atividades do projeto, devem ser limitadas àquelas que resultam em reduções de emissão menores ou iguais a 60 kt CO <sub>2</sub> equivalente anualmente."
3	Localização da atividade do projeto	A medida de mitigação será aplicada a nível nacional. No entanto, o alvo da medida são as indústrias de cimento onde os resíduos podem ser utilizados como combustíveis alternativos e serem coprocessados, buscando inibir o descarte de resíduos em aterros ou lixões.
4	Tecnologia / serviço / outros	Uso de Combustível Derivado de Resíduos (CDR) de Resíduos Sólidos Municipais (RSU) como fonte de energia na produção de cimento
5	Setor econômico	Industrial & Manufatura / Resíduos
6	Redução média anual de emissões de GEE (t CO <sub>2</sub> e)	A média anual de emissões evitadas de GEE chegaria a 2,97 Mt CO <sub>2</sub> e/ano até 2030.
7	Data	Esta ficha de projeto foi escrita em outubro de 2021.
8	Informações de Contato	Primeiro representante: Otto Hebeda, Pesquisador, Centro Clima/Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro Dados de contato do primeiro representante: ottohebeda@ppe.ufrj.br / +55 21 99390-6680 Segunda representante: Bruna Guimarães, Pesquisadora, Centro Clima/Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro Dados de contato do segundo representante: brunasvg@ppe.ufrj.br / +55 21 96528-0380 Terceira representante: Isabela Lima, Pesquisadora, Centro Clima/Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro Dados de contato do terceiro representante: isabelalima@ppe.ufrj.br / +55 21 99117-8279
II. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO		
1	Descrição do Projeto	A utilização de combustíveis alternativos no processo produtivo reduz a quantidade necessária de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa por apresentarem menor fator de emissão de CO <sub>2</sub> . Assim, emitem menos carbono para gerar a mesma quantidade de energia. Cerca de 60% das fábricas integradas possuem fornos licenciados para coprocessar resíduos. Assim, menos da metade das fábricas teriam que se adaptar ao coprocessamento de resíduos. No caso da produção de CDR pelas cimenteiras, algumas terão que planejar um sistema de coleta seletiva, triagem de materiais e processamento para tornar os resíduos (RSU) incineráveis (2019a). De acordo com o SNIC (2019a), considerando as características atuais dos setores de cimento e resíduos, espera-se que os primeiros projetos utilizando CDR ocorram nas regiões sudeste e sul, seguidas pelas regiões centro-oeste, nordeste e norte. Isso se explica pelo fato de que o Sudeste abriga 53% dos resíduos coletados no Brasil e cerca de 38% das fábricas dentro dos critérios viáveis para implantação do CDR, o nordeste abriga 22% dos resíduos coletados no Brasil e 19% das fábricas dentro dos critérios viáveis, o sul abriga 11% dos resíduos coletados e 19% das fábricas viáveis, o centro-oeste abriga 8% dos resíduos coletados e 19% das fábricas viáveis e, finalmente, o norte abriga 6% dos resíduos coletados e 5% de fábricas viáveis.  A utilização de resíduos em fornos de cimento exigirá: - Uma equipe técnica: para o desenvolvimento de aspectos ambientais e potenciais energéticos - Uma equipe jurídica: para os aspectos regulatórios
2	Números-chave de tecnologia	Os equipamentos para adequar uma fábrica de cimento para utilização de CDR são: i. Sistema de alimentação para combustível secundário ii. Áreas de armazenamento com sistema de queima iii. Máquina trituradora iv. Sistema de dosagem dos combustíveis alternativos para os pré-calcinadores e fornos v. Armazenamento intermediário de combustíveis alternativos vi. Tubos pneumáticos vii. Bomba de ventilação viii. Linhas transportadoras

3	Descrição técnica da medida de mitigação	<p>A produção de CDR consome energia em suas etapas, como na coleta de RSU e nas operações da usina – algumas delas até menos eficientes em termos de consumo de energia, como a fragmentação para reduzir o tamanho dos materiais. Mas a produção global e o uso de CDR, na maioria dos casos, são comparativamente negativos em carbono; para determinar a quantidade exata de emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> evitadas, é necessário estabelecer quais combustíveis fósseis foram substituídos por CDR. Por exemplo, segundo Remondis (GLORIUS; REMONDIS, 2008), se o CDR com 50% de conteúdo biogênico substituir o carvão, ele economiza 0,75 t CO<sub>2</sub>e/t de CDR, enquanto economiza 1 t CO<sub>2</sub>e/t de CDR ao substituir o carvão betuminoso.</p> <p>O processo de produção de combustível a partir de resíduos consiste em oito etapas: (i) separação na fonte; (ii) triagem ou separação mecânica; (iii) redução de tamanho; (iv) separação e triagem; (v) mistura; (vi) secagem e peletização; (vii) embalagem, e (viii) armazenamento.</p> <p>As etapas de separação removem o material reciclado, fração inerte (por exemplo, vidro) e material decomponível (por exemplo, alimentos). Como resultado desse processo, é produzido o Combustível Derivado de Resíduos (CDR). Seu poder calorífico varia entre 15 e 20 MJ/kg, metade do coque de petróleo ou gás natural.</p> <p>As partes interessadas consideram o baixo custo de disposição do aterro uma das principais barreiras para aumentar o uso de resíduos como fonte alternativa de energia. Os impostos sobre aterros sanitários e incineração são usados em muitos países como um instrumento chave para promover outros destinos, por exemplo, reciclagem e energia.</p> <p>As empresas de cimento no Brasil utilizam cerca de 83% do Coque de Petróleo como fonte de energia térmica. Os combustíveis alternativos são responsáveis por 14,9% da matriz energética. O cenário de linha de base considerará a conservação do perfil de consumo de energia. A produção de cimento deverá aumentar 43% até 2030 face a 2019, de acordo com o projeto DDP-BIICs. A intensidade energética do cimento não se alterará até 2030. A intensidade energética é calculada considerando o consumo energético dado pelas Contas Energéticas Nacionais e a produção de clínquer.</p>
4	Participantes do projeto	<p>Partes envolvidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brasil (parte anfitriã)</li> </ul> <p>Participantes do projeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produtores de cimento</li> <li>- Municípios, que encaminharão os resíduos para as cimenteiras</li> <li>- Empresas que possuem resíduos compatíveis com a produção de CDR</li> </ul>
5	Potencial de redução de emissões de GEE	A média anual de emissões evitadas de GEE chegaria a 2,97 Mt CO <sub>2</sub> e/ano a partir de 2030
6	Mercado-alvo e potencial	A medida de mitigação será aplicada a nível nacional. No entanto, o alvo da medida são as indústrias de cimento onde os resíduos podem ser utilizados como combustíveis alternativos e serem coprocessados, buscando inibir o descarte de resíduos em aterros ou lixões. No Brasil, existem 100 fábricas de cimento controladas por 22 grupos.

### III. FINANCIAMENTO DO PROJETO

1	Principais detalhes do financiamento do projeto/financiamento estruturado	<p>Os custos para o tratamento de Resíduos Sólidos Municipais são (IFC, 2017): CAPEX total: USD 9-11 milhões. OPEX total: USD 6-17 por tonelada de resíduos</p> <p>Para uma capacidade de 4 milhões de toneladas de clínquer por ano, os custos são apresentados abaixo: (Investimento necessário: 9 milhões de USD; custo RDF: 16 USD/t (incluindo transporte))</p> <p>O valor da coleta convencional é de R\$ 95,00, conforme dados de 2016 do CEMPRE – Compromisso Empresarial pela Reciclagem. (valor de 2015)</p>
2	Fontes de financiamento	A atividade de projeto será financiada por entidades privadas ou por meio de bancos públicos
3	créditos de carbono	Não se espera que o projeto seja (co-)financiado por meio de padrões de crédito de carbono.
4	Custo por tonelada de carbono (\$/t CO <sub>2</sub> e)	-21\$/t CO <sub>2</sub> e (taxa de câmbio de 2020)
5	Risco de financiamento	As tecnologias eficientes de tratamento e recuperação de resíduos de energia já são comprovadas e aprimoradas ao longo de décadas. Do ponto de vista do investidor, os riscos tecnológicos são considerados baixos.

6	modelagem financeira	Este projeto não possui um modelo financeiro. Em vez disso, este é um modelo inicial.
7	modelo de aquisição	Parceria público-privada (PPP)
9	Fase do projeto	Desenvolvimento de conceito
10	Suporte de assistência técnica	A implementação do projeto depende da participação e aprovação do governo e de suas instituições. Também dependerá da aceitação das empresas privadas e dos geradores de resíduos, que serão instruídos quando o projeto for aprovado.

#### IV. BARREIRAS E RISCOS DO PROJETO

1	Barreiras e riscos do projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de Regulamentação;</li> <li>- Fornecimento de resíduos;</li> <li>- Logística de resíduos;</li> <li>- Riscos Técnicos;</li> <li>- Riscos ambientais (poluição);</li> </ul>
2	Condições de habilitação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proibição de aterros sanitários;</li> <li>- Altas taxas de aterro;</li> <li>- Redução nos custos de transporte;</li> <li>- Percepção dos resíduos como recurso econômico</li> </ul>
2	Desenvolvimento de políticas	Algumas ações podem ser desenvolvidas, como: subsídios para o transporte de resíduos destinados ao coprocessamento; Benefícios fiscais e trabalhistas para minimizar os custos de transporte; Fortalecimento/Incentivo à criação de cooperativas de triagem e catadores; Campanhas de conscientização com formuladores de políticas públicas, planejadores urbanos e usuários atuais e potenciais.

#### V. INFORMAÇÕES E DOCUMENTOS ADICIONAIS

1	Benefícios e riscos sociais, econômicos e ambientais	<p>O coprocessamento, se realizado de forma inadequada, pode trazer riscos à saúde do trabalhador e ao meio ambiente devido à emissão de partículas poluentes e à volatilização de metais pesados. Há também o risco de acidentes durante o transporte de resíduos para a indústria cimenteira. Além disso, o pré-tratamento e a seleção de resíduos realizados de forma insatisfatória podem resultar em emissões indesejáveis na atmosfera, contendo dioxinas e furanos.</p> <p>No entanto, se as atividades de coprocessamento forem realizadas sob a legislação ambiental e de segurança do trabalho, podem trazer inúmeros benefícios. Por exemplo, pode levar a uma redução na disposição de resíduos sólidos em aterros, consequentemente aumentando a vida útil dos aterros, evitando a poluição local e impactando positivamente a conservação. Também reduz o consumo de combustíveis fósseis, os impactos da exploração de petróleo e as emissões associadas ao consumo desses combustíveis, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.</p>
2	Potencial transformador	Esta atividade de projeto visa aumentar o uso de resíduos como matéria-prima nas indústrias de cimento com base no aumento dos custos de aterro. A tecnologia envolvida em tal processo em fábricas de cimento já é conhecida e tem viabilidade técnica e econômica, com os devidos incentivos. Portanto, há um grande potencial de expansão do uso de resíduos em fábricas de cimento no território nacional.
3	Aprovações/ permissões regulatórias	O transporte dos resíduos para as cimenteiras será feito por meio do Manifesto do Transporte de Resíduos (MTR), documento autodeclarado do governo federal que contém especificações técnicas sobre os resíduos, sua origem e destino. Dependendo da localização da cimenteira e da procedência dos resíduos, também pode ser exigida a coleta de documento no órgão ambiental estadual (ex: DMR em Minas Gerais e CADRI em São Paulo). Além disso, no caso da adequação de uma fábrica de cimento para utilização do CDR, seria necessária a obtenção de nova licença ambiental contendo a nova formatação da fábrica, junto ao órgão ambiental competente. No caso da construção de novas usinas, o licenciamento ambiental segue o rito tradicional.
4	Consulta pública	A consulta aos stakeholders concretizou-se através de entrevistas online realizadas ao longo da existência do projeto Decarboost. Nessas entrevistas, um dos principais pontos de concordância foi a necessidade de o resíduo ser visto como matéria-prima, e não como resíduo. Além disso, também é responsabilidade dos municípios passar essa percepção para toda a população e para as indústrias que podem aproveitar esses resíduos que hoje são desperdiçados e depositados em aterros.
5	Documentação chave e documentos de apoio	Centro Clima. DDPBIIICS Project Projections. CEMPRE – Business Commitment for Recycling. 2016 data IFC, 2017 SNIC, 2019a SNIS, 2019





Figura 4. Localização das fábricas e moinhos de cimento no Brasil.

Fonte: SNIC, 2019

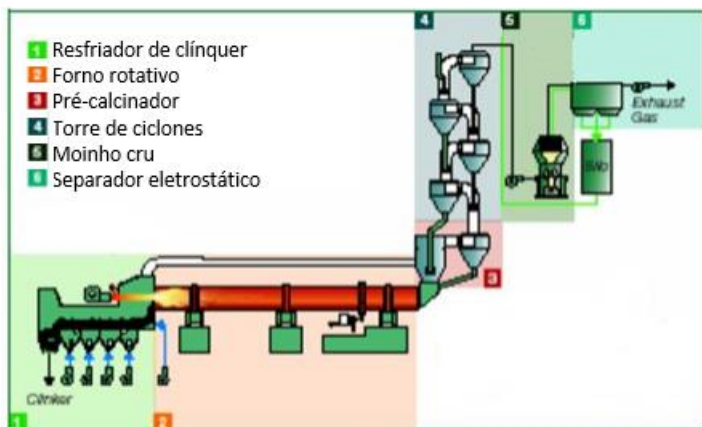


Figura 5. Equipamento típico instalado em fábrica de cimento

**Tabela 6.** Redução de emissões na produção de cimento com combustíveis alternativos

Ano	Emissões de linha de base (Mt CO <sub>2</sub> e)	Emissões de projeto (Mt CO <sub>2</sub> e)	Reduções de emissão (Mt CO <sub>2</sub> e)
2022	12,91	12,37	0,54
2023	13,13	12,31	0,82
2024	13,35	12,25	0,11
2025	13,58	12,18	1,40
2026	13,80	12,10	1,70
2027	14,02	12,01	2,01
2028	14,25	11,92	2,32
2029	14,47	11,82	2,65
2030	14,69	11,72	2,97

Fonte: Autores.