

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 de Transportes

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 de Transportes	1
1. Apresentação do Setor	2
2. Objetivos	5
3. Ações de Mitigação.....	5
3.1. Eletrificação da Frota Brasileira.....	8
3.2. Ganhos de eficiência energética.....	9
3.3. Melhorias no Transporte Público Urbano	9
3.4. Reformulação de Sistemas de Transportes.....	9
3.5. Eletrificação de Sistemas de Transportes	9
3.6. Aumento do Uso de Biocombustíveis.....	9
4. Instrumentos	10
5. Referências.....	18
Apêndice 1 – Instrumentos Propostos	21
A1.1. Instrumento 1 – Novos itens à Política Nacional de Mobilidade Urbana	21
A1.2. Instrumento 2 – Linha de Financiamento para Ônibus Zero Emissão do Programa Refrota.....	25
Apêndice 2 – Oportunidades de Investimentos	32

A2.1. Oportunidade de Investimento I: Planejamento e Aquisição de Ônibus Elétricos a Bateria	32
A2.2. Oportunidade de Investimento II: Plano de Ação em Transporte de Carga Sustentável	43

FIGURAS – Parte I

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

FIGURAS- Parte III

Figura 1.	Consumo de energia e dependência do diesel no setor de transportes brasileiro	2
Figura 2.	Demanda interna de diesel mineral e biodiesel.....	4
Figura 3.	Evolução das medidas de mitigação no setor de transportes brasileiro.....	7
Figura 4.	Trajetórias de emissão de GEE nos cenários CPS e DDS – transportes	8
Figura 5.	Atividades envolvidas no processo de publicação do instrumento I	24
Figura 6.	Ônibus tipo básico e padron em operação na cidade de São Paulo	27
Figura 7.	Participação de ônibus padrão e articulados/biarticulados em cidades brasileiras selecionadas... ..	28
Figura 8.	Atividades envolvidas no processo de publicação do instrumento II	30
Figura 9.	Ônibus de piso baixo	34
Figura 10.	Principais ônibus elétricos que podem ser adquiridos no Brasil.....	35
Figura 11.	Modelo de negócio amplamente adotado nas cidades brasileiras.....	36
Figura 12.	Possível alternativa de modelo de negócio a ser adotado nas cidades brasileiras.....	36
Figura 13.	Exemplos de modelos alternativos de veículos atualmente disponíveis no Brasil	44

TABELAS – Parte I

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

TABELAS – Parte III

Tabela 1.	Transporte – Instrumentos de política e barreiras relacionadas identificadas no relatório anterior.....	10
Tabela 2.	Elementos e detalhes da linha de financiamento atual	25
Tabela 3.	Elementos e detalhes da linha de financiamento proposta	29
Tabela 4.	Tipos de veículos e aplicação	34
Tabela 5.	Requisitos mínimos para motores elétricos e baterias	35
Tabela 6.	Cenário alternativo (aplicação em duas cidades e versão escalável).....	37
Tabela 7.	Cronograma de atividades propostas.....	37
Tabela 8.	Fabricantes e modelos disponíveis localmente	44
Tabela 9.	Cronograma de atividades proposto	45
Tabela 10.	CAPEX, OPEX e emissões de GEE evitadas, considerando a aplicação do projeto nas 49 cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes	47

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

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

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

1.2. Planos Setoriais Brasileiros de Mitigação

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

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

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

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

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

2. Construção de Cenários

2.1. Estória Qualitativa

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

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

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

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

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

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

- **Facilitadores domésticos**

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

Baseia-se também em duas políticas climáticas:

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

2.2. Pressupostos Quantitativos

❖ **Economia**

O tamanho da população aumenta de 210 milhões em 2019 para cerca de 233 milhões em 2050. Nesse período, a parcela da população urbana cresce de 86% para 89%. Após a forte desaceleração da economia de 2015 a 2020 devido à crise político-econômica e à pandemia de COVID-19, a recuperação econômica brasileira começa

em 2021: as taxas médias anuais de crescimento do PIB seriam de 2,26% de 2021 a 2030; 2,25% de 2031 a 2040; e 2% de 2041 a 2050 (com crescimento linear assumido a cada década). Após o recuo de 2015-2020, a redução das desigualdades de renda é retomada novamente, mas mais lentamente do que no período 2000-2015. Prevê-se que o tamanho das famílias diminua lentamente, enquanto o rendimento disponível das famílias em % do PIB aumente. O comércio se torna mais importante para o Brasil durante o período do cenário, e os impostos de importação e o protecionismo são reduzidos, seguindo a tendência global. Uma política ativa deve ser implementada para manter uma taxa de câmbio estável em 5,15 R\$/USD (2020). O preço do carbono aumenta linearmente, atingindo 19,0 USD / t CO_{2e} em 2030 e 49,3 USD / t CO_{2e} em 2050.

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

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

Tanto o CPS quanto o DDS assumem uma continuidade das tendências históricas nas preferências alimentares. As preocupações ambientais nos países desenvolvidos levam a um menor consumo de 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 CO₂e em 2050, correspondendo a uma redução de 93% em relação a 2020. As Áreas Protegidas (unidades de conservação e terras indígenas) removem 487 Mt CO₂e em 2050 (24% a mais do que em 2020), graças à adição de 53 Mha de florestas públicas não destinadas registradas no Serviço Florestal Brasileiro aos 276 Mha protegidas hoje.

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

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

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

No CPS, a produção agrícola cresce mais do que no DDS (24% 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 CO₂eq por ano. Considerando o desinteresse do governo anterior em ampliar as áreas de proteção ambiental, bem como alocar recursos humanos e financeiros para sua gestão, o CPS não prevê a criação ou expansão de áreas protegidas entre 2021-2050, mantendo-se o nível de 2020 constante até 2050 (279 Mha). Esta área remove 391 Mt CO₂eq em 2050.

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

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

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

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

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

❖ **Transporte**

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

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

Programas internacionais de financiamento focados em políticas e infraestrutura sustentáveis se tornam comuns entre os principais agentes financeiros.

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

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

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

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

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

No CPS, a indústria de biocombustíveis está restrita ao biodiesel e ao etanol hidratado. Os incentivos à eletromobilidade são limitados a experimentos em áreas metropolitanas. O fim das vendas de carros de combustão interna deverá ocorrer apenas em 2050, quando o estoque total de carros atingir 106 milhões. A mobilidade privada representará uma participação de 50%, superior à do DDS. Essa participação decorre de uma menor proporção de transporte público e não motorizado, haja vista que menos investimentos são esperados. A eletricidade não é representativa neste cenário, chegando a apenas 4% do total de energia consumida no transporte de passageiros em 2050. No entanto, os biocombustíveis representarão 38% no mesmo ano. As emissões de GEE do transporte de passageiros aumentarão 25%, atingindo 126 Mt CO₂e.

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

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

❖ **Indústria**

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

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

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

O plano de mitigação da indústria apresenta maiores detalhes.

❖ **Oferta de Energia**

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

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

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

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

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

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

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

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

❖ **Resíduos**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Metodologia de Modelagem³

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

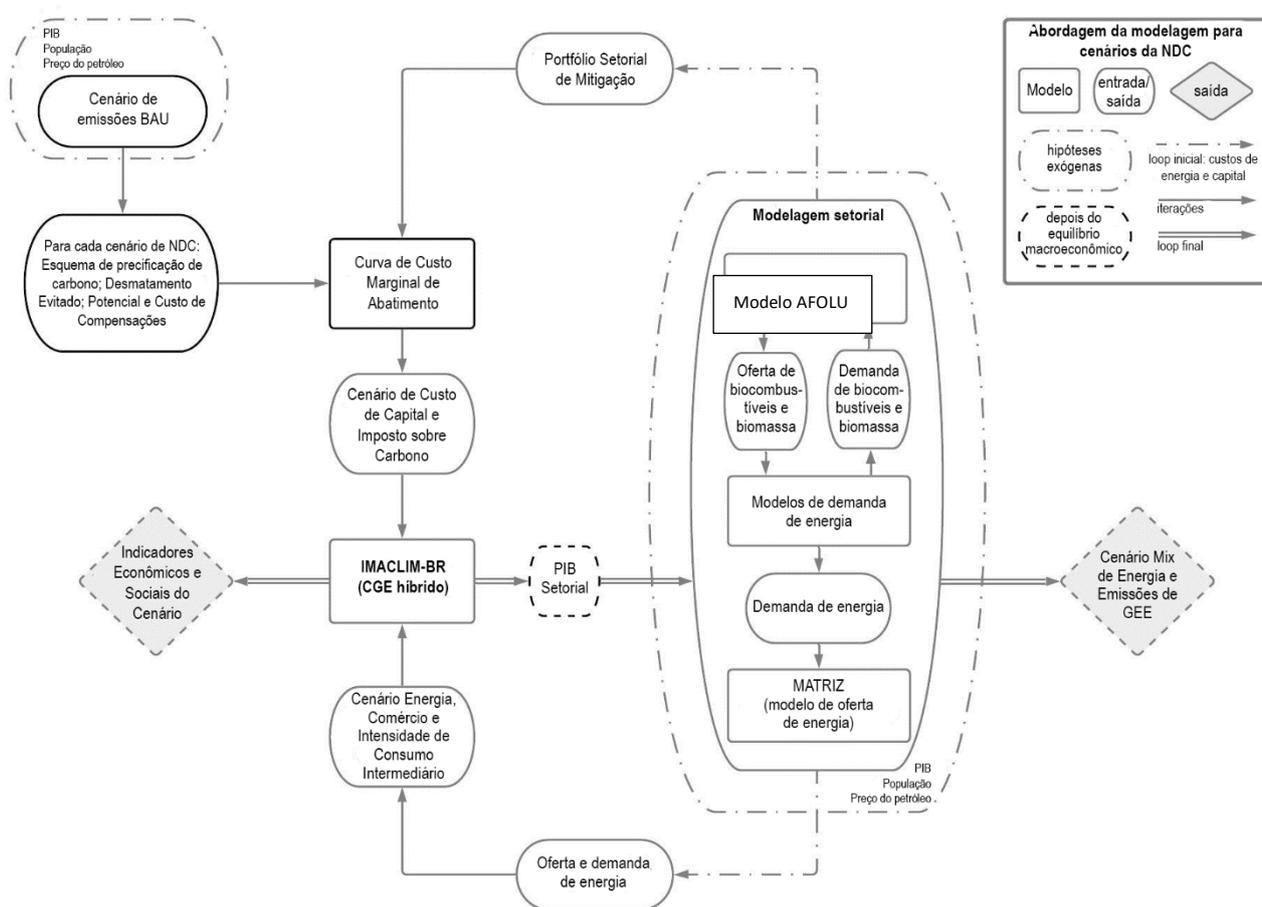


Figura 1. Diagrama de modelagem integrada para cenários do Brasil

Fonte: Adaptado de Wills et al. (2021)

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

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

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

4. Ações de Mitigação, Metas e Marcos por Setor⁹

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

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

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

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

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

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

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

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

- Contribuição setorial para a mitigação

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Faixas de custo da ação de mitigação (USD / t CO ₂ e)	2021 – 2030		2031 – 2040		2041 – 2050	
	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período
até 3,8	365	36%	1.060	40%	1.647	32%
até 7,6	659	65%	1.613	62%	2.236	43%
até 11.4	659	65%	1.613	62%	3.299	63%
até 15.2	963	95%	1.619	62%	3.299	63%
até 19.0	1,013	100%	1.619	62%	3.299	63%
até 22,8			2.282	87%	3.308	63%
até 26.6			2.309	88%	4.916	94%
até 30.4			2.319	89%	4.916	94%
até 34.2			2.618	100%	4.916	94%
até 49.3					5.254	100%

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Principais facilitadores e aceleradores internacionais de transições domésticas

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

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

AFOLU: Imposto de ajuste de fronteira de acordo com as pegadas de carbono e incentivos de mercado para produtos agrícolas e florestais com rastreabilidade e 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 CO₂e, respectivamente, em cada década.
- ✓ Esta via de precificação do carbono permite estabelecer metas e marcos setoriais de mitigação consistentes com uma meta de emissões líquidas zero de GEE em toda a economia em 2050, abrindo caminho para a criação de um esquema de *cap-and-trade* para o setor industrial e planos de mitigação setoriais.
- ✓ O DDS permite alcançar a neutralidade de carbono e, ao mesmo tempo, alcançar resultados de desenvolvimento econômico e social ligeiramente melhores do que o CPS (graças a uma reciclagem inteligente das receitas de precificação de carbono).

- Visualização dos resultados do país

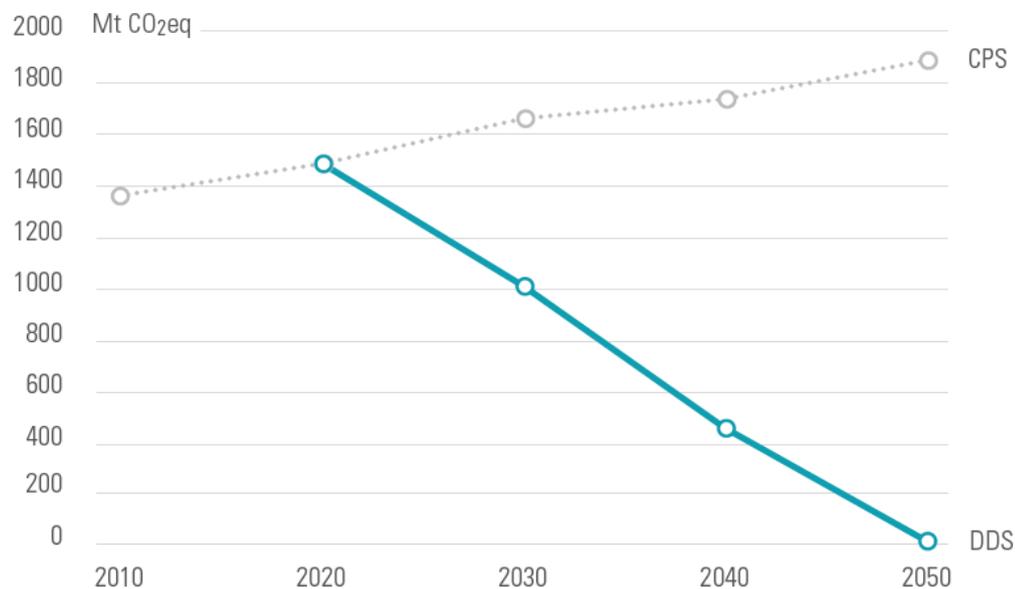


Figura 2. Emissões de GEE sob os cenários de políticas atuais (CPS) e de descarbonização profunda (DDS) (Mt CO₂e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

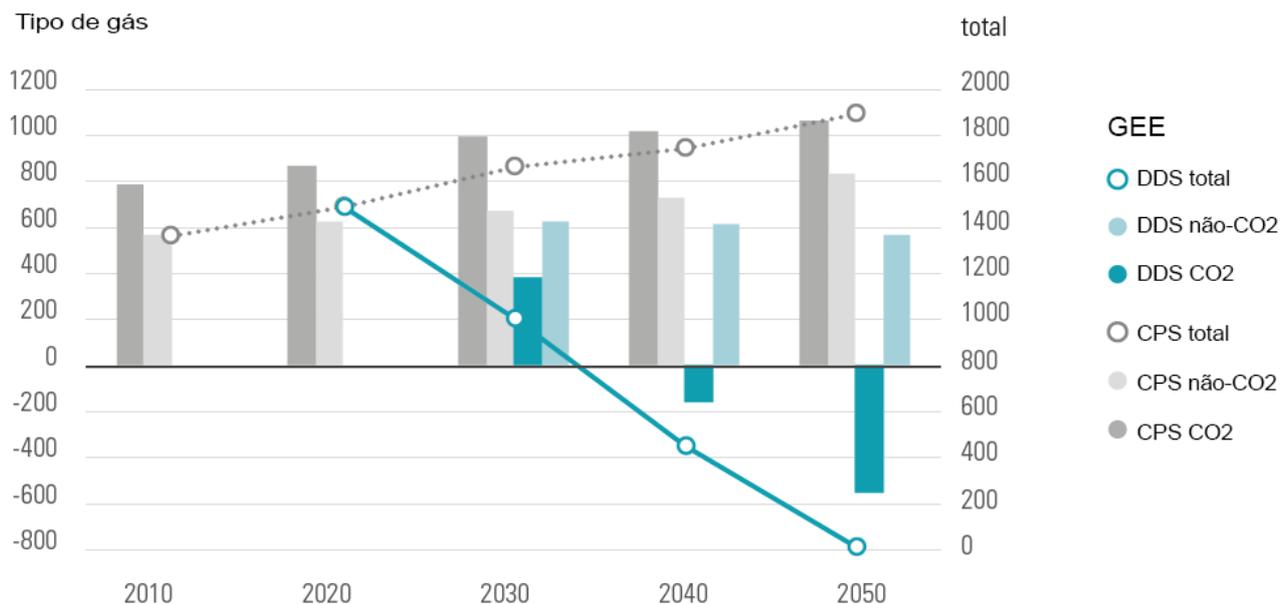


Figura 3. Emissões de GEE, CO₂ e não-CO₂, nos cenários (Mt CO₂e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

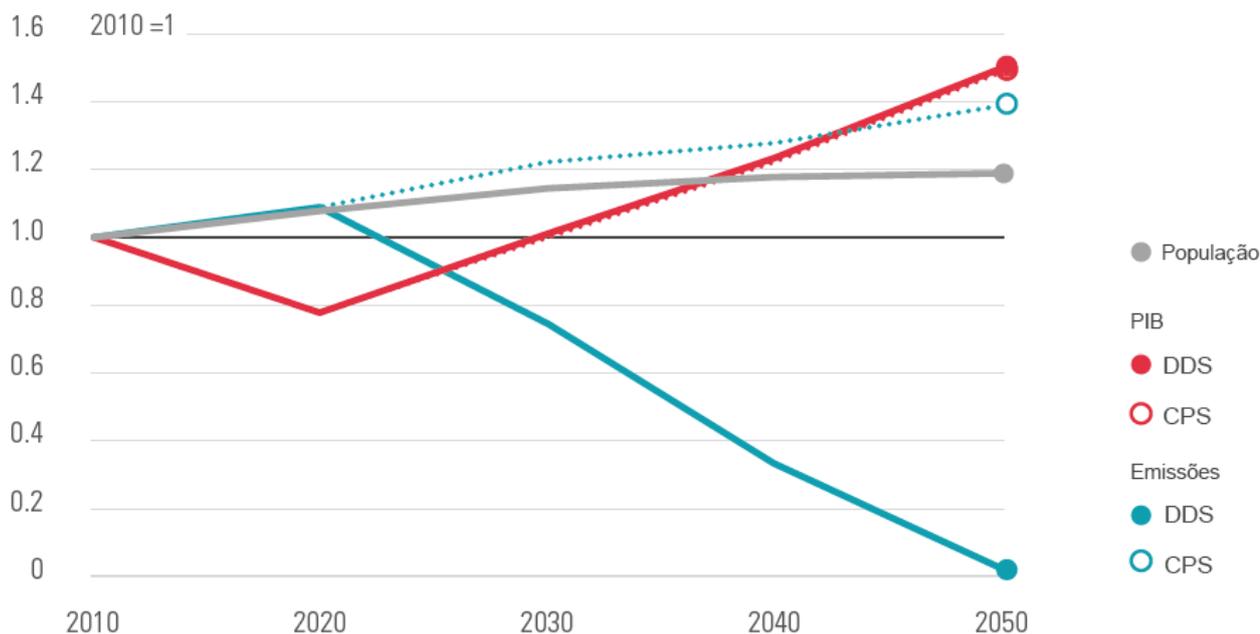


Figura 4. Emissões de GEE x População x PIB (2010 = 1)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

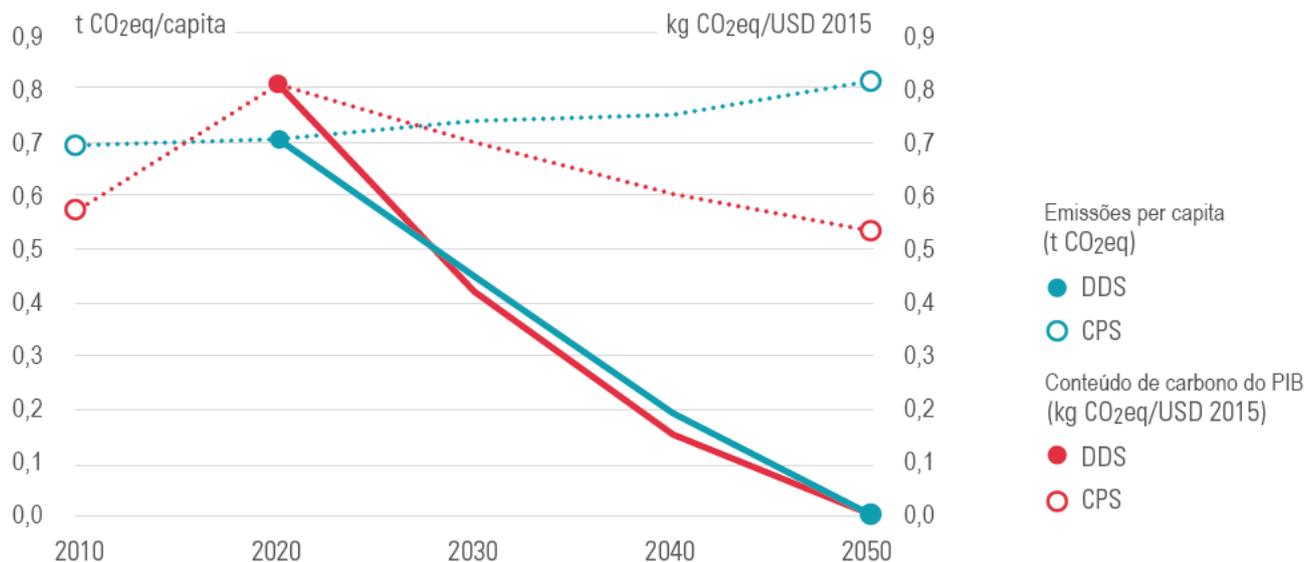


Figura 5. Intensidade de emissões per capita e por PIB

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

Nota: O indicador da direita usa USD de 2015.

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

5.1. Abordagem Metodológica

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

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

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

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

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

¹¹ La Rovere et al., 2018.

- Detalhamento de oportunidades de investimento pré-selecionadas.

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

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

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

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

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

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

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

5.2. Critérios para a Seleção das Ações de Mitigação

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

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

5.2.1. Custos de Mitigação

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

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

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

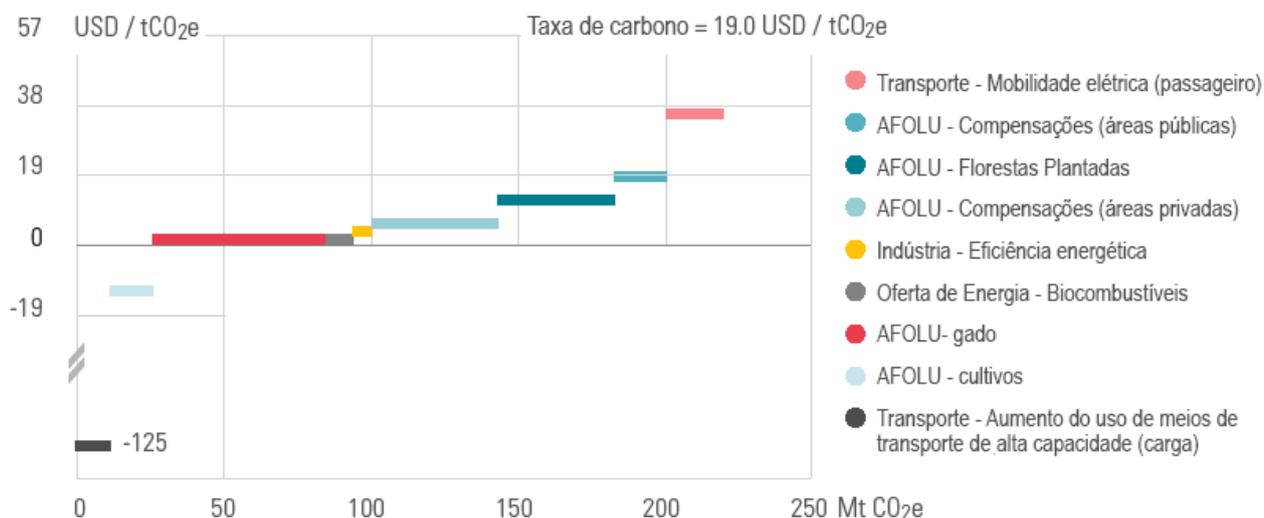


Figura 6. Curva de custo de abatimento marginal 2021-2030 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO_{2e})
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

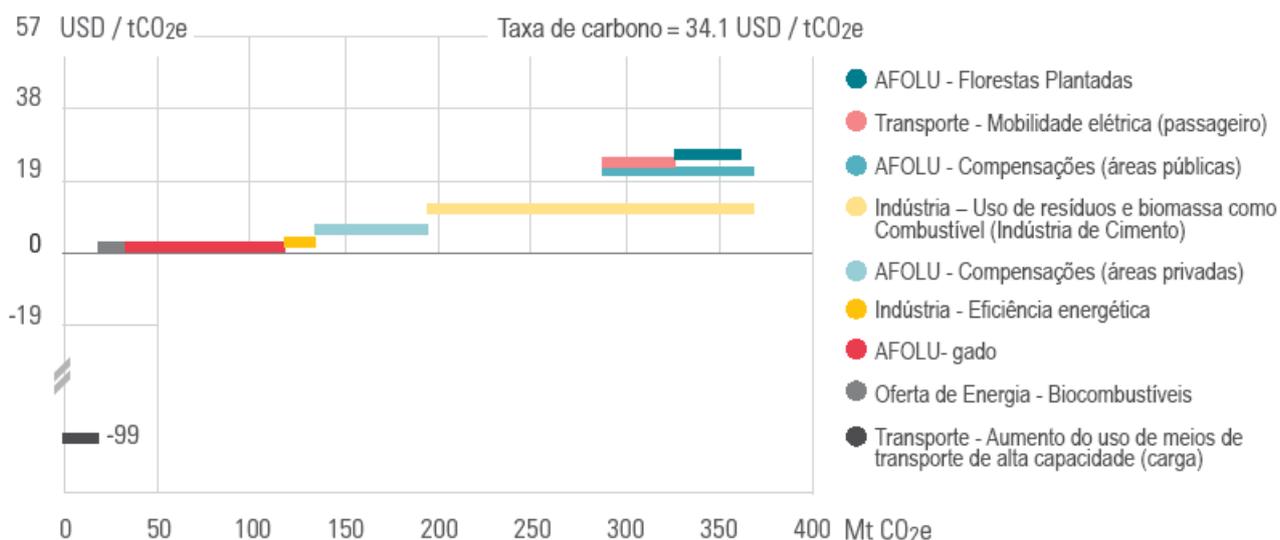


Figura 7. Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO_{2e})
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

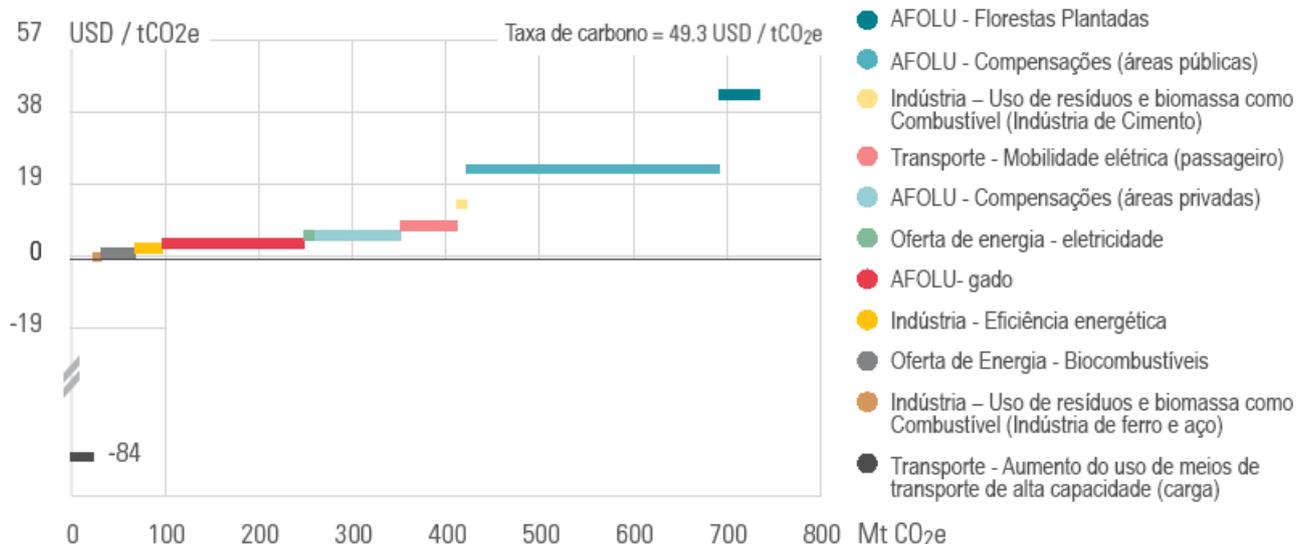


Figura 8. Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO₂e)
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

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

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

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

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

Sinergia muito alta com os ODS	
13	Ação contra a mudança global do clima (mitigação radical)
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 CO₂e emitido é feita pelo agente econômico, que compara o preço do poluente a ser precificado com seu custo marginal de mitigação. O que se espera é que os agentes econômicos com menor custo de controle reduzam mais, pois é mais barato controlar do que pagar o preço. No Brasil, o projeto *Partnership for Market Readiness* (PMR) do Banco Mundial discutiu, simulou e analisou muitas opções de precificação de carbono em conjunto com o Ministério da Economia. O Centro Clima/COPPE/UFRJ foi responsável pelo componente de modelagem e simulou oito diferentes cenários econômicos e de emissão de GEE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fonte: La Rovere et al., 2021.

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

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

PARTE III.

PLANOS SETORIAIS DE MITIGAÇÃO

PLANO DE MITIGAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES

Autores: Márcio D'Agosto, George V. Goes & Daniel Schmitz

1. Apresentação do Setor

A agenda climática brasileira, historicamente, é uma das mais ambiciosas dentre os principais países emissores. Apesar disso, há alta confiança que os compromissos ambientais assumidos não refletem o potencial do setor de transportes. Avanços relacionados ao uso intensivo de biocombustíveis e à infraestrutura de modos de alta capacidade foram alcançados, mas o setor ainda enfrenta barreiras para a implementação de biocombustíveis *drop-in* avançados e mobilidade elétrica no transporte de cargas e passageiros. Com base em uma abordagem voltada às partes interessadas, o Plano de Mitigação de Transportes identifica barreiras críticas e aborda possíveis instrumentos políticos que viabilizem um caminho de baixo carbono no setor. Além disso, são apresentadas e discutidas oportunidades de investimentos para implementação nos próximos anos.

O setor de transportes é o maior consumidor mundial de combustíveis derivados do petróleo, respondendo por 60% da demanda mundial de petróleo (IEA, 2021). Cerca de 23% do uso final de energia no mundo e 14% das emissões antrópicas globais têm origem nas atividades de transporte (Bunsen *et al.*, 2018). O transporte brasileiro, fortemente dependente do diesel mineral, é responsável por 13% das emissões nacionais de GEE (La Rovere *et al.*, 2019a). Desde 1980, a participação do diesel na demanda total de energia para transporte oscilou entre 34% e 53% (EPE, 2021), conforme mostra a Figura 1.

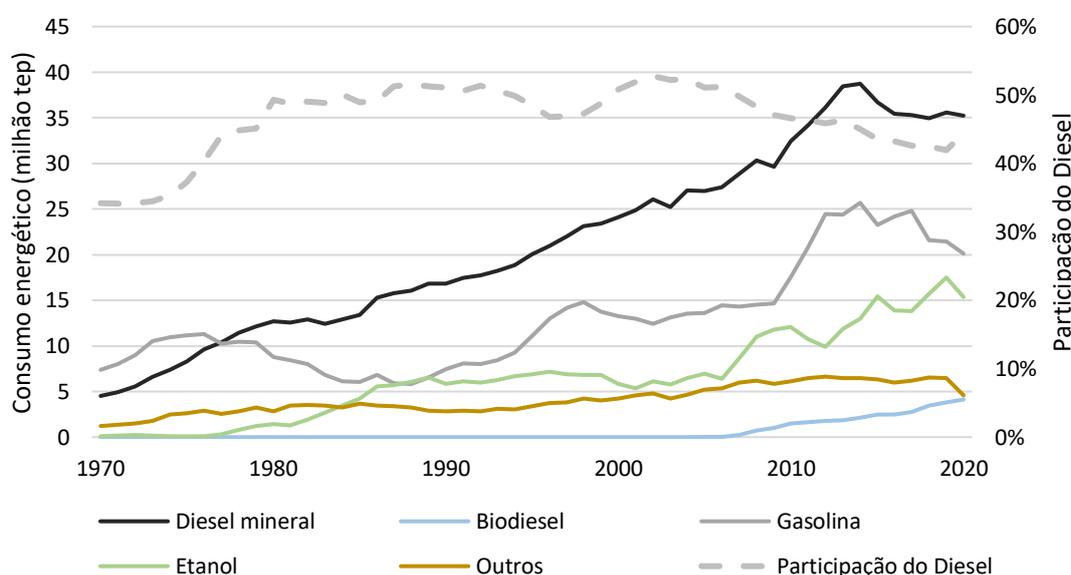


Figura 1. Consumo de energia e dependência do diesel no setor de transportes brasileiro

Fonte: Adaptado de EPE (2021)

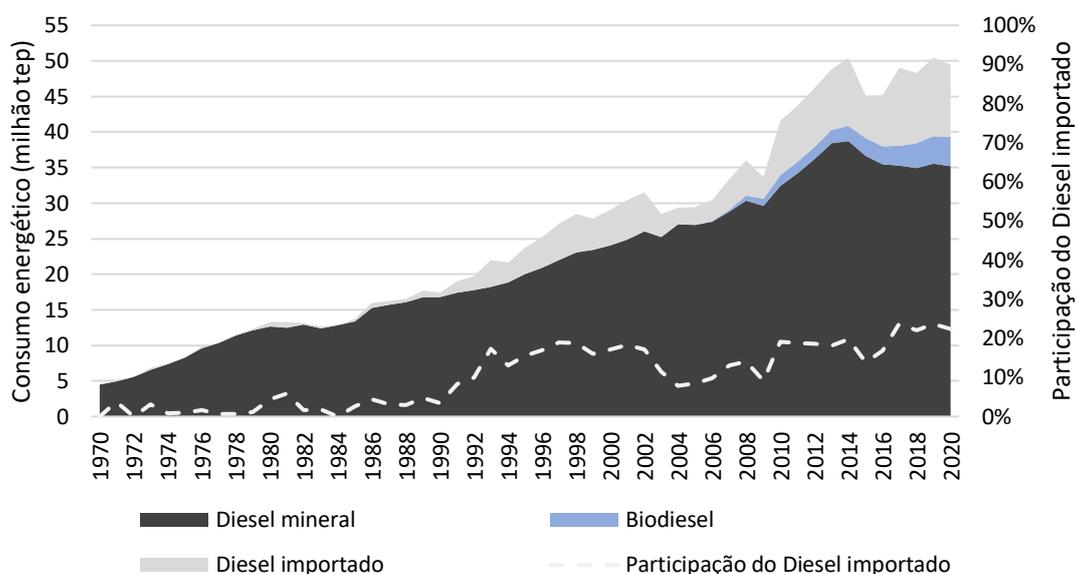
Em 2019, o transporte rodoviário representou 91% da atividade de transporte de passageiros e 54% da atividade de transporte de carga. Esse modo tem sido historicamente utilizado para o transporte de mercadorias em distâncias continentais, refletindo sua alta participação na divisão modal brasileira. Investimentos maciços na indústria automobilística a partir da década de 1950, em contraste com a falta de incentivos aos modos de alta

capacidade, podem explicar a situação atual (CNT, 2018a). O Brasil possui aproximadamente 30 mil quilômetros de ferrovias, mas menos de um terço são utilizados (Gonçalves *et al.*, 2020). Em situação semelhante, aproximadamente 40 mil quilômetros de hidrovias são viáveis para a navegação interior, embora apenas um quarto seja utilizado (EPL, 2018).

Atualmente, praticamente todos os ônibus são movidos a diesel, assim como caminhões, trens de carga, embarcações de navegação interior e apoio *offshore*. Porém, diferentemente da gasolina, que tem como alternativa o etanol hidratado e o gás natural veicular, o diesel mineral ainda não possui um combustível substituto imediato. Para amenizar o problema, está prevista para 2023 uma perspectiva legal de aumento da mistura de biodiesel em volume em até 15% (B15) (Brasil, 2019). No entanto, o aumento é altamente improvável, pois ao longo de 2021 a mistura de biodiesel caiu de 13% para 10% e continua assim. No entanto, com a chegada da nova fase do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve P8) (equivalente ao Euro 6), misturas maiores de biodiesel devem ser analisadas com cautela, pois estudos europeus indicam que esses novos veículos não estão preparados para receber misturas com teor de éster acima de 7% (EPE, 2020). O uso de Óleo Vegetal Hidrotratado (HVO) poderia mitigar esse problema. No entanto, esse combustível ainda não é comercializado no Brasil.

O aumento do percentual de mistura de biodiesel desde 2005, um mecanismo para melhorar a segurança energética, não foi suficiente para reduzir a demanda por diesel mineral. Isso é especialmente preocupante devido ao histórico de paralisações no transporte rodoviário brasileiro, que, por exemplo, impactaram fortemente a atividade de carga em 2018, com escassez de alimentos, suprimentos médicos e combustíveis (Dantas *et al.*, 2019). Nesse sentido, a Figura 2 mostra a flutuação da demanda de diesel mineral e biodiesel.

Além disso, desde a recessão econômica de 2015, o consumo de diesel mineral tem sido mais dependente de importações. Esse também é o caso do querosene de aviação, cuja oferta interna não tem sido suficiente para atender ao crescimento da demanda, de modo que as importações devem representar 30% do volume total até 2031 (EPE, 2022). Por fim, o Brasil não aderiu à fase inicial do Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), o que pode representar um retrocesso na descarbonização do setor (Brasil, 2018).



Fonte: Adaptado de EPE (2021)

Figura 2. Demanda interna de diesel mineral e biodiesel

O transporte público está continuamente perdendo passageiros para outros modos de transporte. Embora a proporção da população urbana no país tenha aumentado de 78% para 86% entre 1996 e 2016, o número anual de passageiros transportados pelo transporte público urbano por ônibus evoluiu de forma diferente (CNT, 2018b; Knoema, 2020). Em 1996, 461 milhões de passageiros foram transportados por ônibus urbanos no Brasil, caindo para 324 milhões 20 anos depois, uma redução de aproximadamente 30% (NTU, 2018). Isso pode estar associado, entre outros motivos, ao histórico de políticas públicas voltadas ao uso individual do transporte motorizado de passageiros. Por exemplo, em duas ocasiões entre 2008 e 2012, o governo brasileiro aprovou a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), incidente sobre veículos automotores, aumentando substancialmente sua comercialização (ANPTrilhos, 2018).

A contínua redução do número de usuários impacta diretamente na receita tarifária dos serviços de transporte coletivo por ônibus no Brasil, levando a novos aumentos nas tarifas. Entre 1996 e 2016, a tarifa média aumentou 848%, mais que o dobro do índice de inflação do período (387%) (NTU, 2018). Esse reajuste tarifário pode ser explicado pelo modelo de concessão vigente nas cidades brasileiras, no qual a receita tarifária cobre o custo do sistema. Assim, os impactos negativos sobre a demanda tendem a ser convertidos em reajustes tarifários. Isso, aliado a uma frota de ônibus que não atende aos padrões internacionais de conforto, reduz ainda mais a atratividade desse modal de transporte, estimulando a migração para outros meios, como automóveis particulares e motocicletas.

Novos serviços promovidos por tecnologias emergentes, como aplicativos de carona, são oferecidos como opções de baixo custo para os usuários, competindo com modos coletivos de transporte, como metrô ou ônibus, principalmente em viagens de curta distância. Portanto, o transporte coletivo por ônibus também teve parte de sua

demanda captada por esses tipos de serviços. Com custos operacionais elevados¹⁴, a redução da demanda de passageiros leva ao aumento das tarifas, intensificando a evasão de passageiros. A crise provocada pela pandemia de COVID-19 impactou a demanda e a oferta de transporte coletivo por ônibus, agravando o círculo vicioso mencionado. Sessenta dias após o início das medidas emergenciais de contenção, a demanda atingiu 29% do nível anterior à pandemia, e a oferta de ônibus diminuiu 32%, resultando em um prejuízo total de aproximadamente 400 milhões de dólares (NTU, 2020).

Um efeito da pandemia de COVID-19 é o aumento inesperado das teleatividades, principalmente do teletrabalho, que chegou a 10% em 2020 entre os trabalhadores ocupados no Brasil (IBGE, 2020). No entanto, a participação das teleatividades é desigual em sua abrangência. Por exemplo, o teletrabalho atingiu 13% na região Sudeste e apenas 4% na região Norte. Além disso, um amplo instrumento para estimular as teleatividades ainda não havia sido formulado. O aumento da ambição exige que todos os aspectos da procura de transporte sejam compreendidos, identificando assim uma pluralidade de opções.

2. Objetivos

O plano de mitigação dos transportes visa reduzir as emissões por meio da melhoria do nível de serviço do transporte de passageiros e carga e da utilização de medidas alternativas às convencionalmente adotadas no setor. Os objetivos específicos do plano são:

- Diagnosticar os problemas que impactam no cumprimento dos compromissos ambientais assumidos e propor alternativas, principalmente em relação aos serviços de transporte público;
- Aumentar a segurança energética, reduzindo a dependência do óleo diesel mineral e aumentando o uso de eletricidade e biocombustíveis *drop-in*;
- Indicar possíveis modelos de financiamento para tecnologias de baixa ou zero emissão no setor de transportes;
- Aumentar a segurança jurídica dos contratos atuais e futuros, propondo melhorias ou novas regulamentações;
- Reverter o crescimento das emissões de poluentes atmosféricos em áreas urbanas por meio da maior eficiência do uso final na mobilidade de pessoas e cargas.

3. Ações de Mitigação

As Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs), submetidas à Convenção do Clima em 2010, estabelecem compromissos legais para reduzir as emissões de carbono até 2020, enquanto a Contribuição

¹⁴ É frequente a compra de diesel com preços acima do praticado no mercado, em decorrência do alto risco de crédito da concessionária.

Nacionalmente Determinada (NDC), ratificada em 2016, mas revisada em 2020 e 2022¹⁵, tem como foco 2030. As NAMAs brasileiras não detalham metas quantitativas para o setor de transportes, considerando um valor base para comparação. Ainda assim, os objetivos que poderiam ser aplicados aos transportes são: (i) reduzir o uso de combustíveis fósseis e eletricidade por meio do aumento da eficiência energética em diferentes setores da economia; e (ii) aumentar a oferta de etanol anidro e hidratado, bem como de biodiesel em substituição aos combustíveis fósseis.

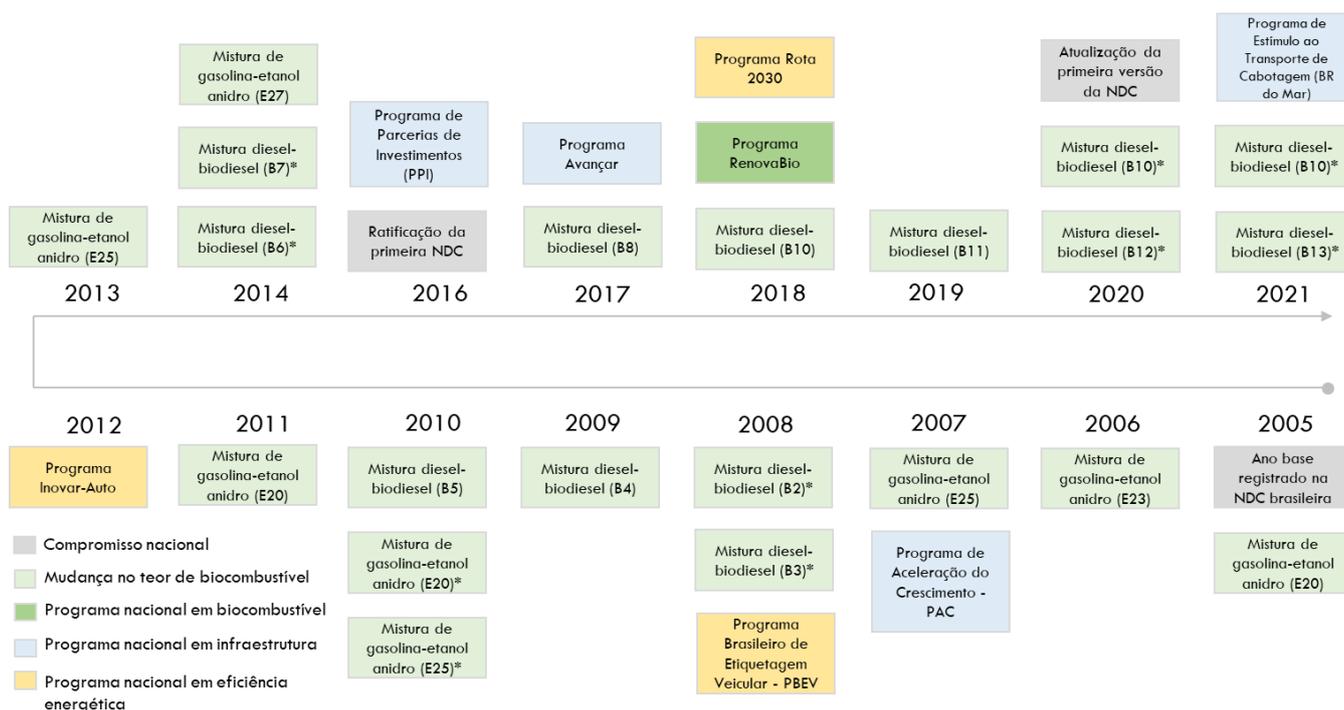
Uma possível razão para a falta de metas quantitativas é a ausência de estudos para estabelecer uma linha de base consistente para indicadores de transportes, como eficiência energética ou penetração de tecnologias. Não obstante, La Rovere *et al.* (2019b) detalhou indicadores relacionados ao transporte entre 2010 e 2018 (também projetando os resultados de 2019 e 2020) e concluiu que as metas foram cumpridas, pois tanto o aumento da eficiência energética quanto o uso de biocombustíveis resultaram em uma redução nas emissões de carbono em até 93 Mt CO₂e.

Tanto a NDC como a NAMA brasileira, como ressaltado, não especificam metas quantitativas para transportes. Em outras palavras, ambos não estabelecem metas secundárias precisas para atingir a meta absoluta de mitigação de carbono (no caso da NDC, 43% abaixo dos níveis de 2005 em 2030). Assim, as metas da NDC aplicáveis ao setor de transportes são: (i) expandir o consumo de biocombustíveis, aumentar a oferta de etanol, inclusive aumentando a participação de biocombustíveis avançados (segunda geração) e a participação de biodiesel na mistura de diesel; e (ii) continuar a promover medidas de eficiência e melhorar a infraestrutura de transportes e transporte público em áreas urbanas.

Como mostra a Figura 3, um conjunto de instrumentos foi lançado nas últimas décadas para responder à crise climática e aos compromissos assumidos. O programa **RenovaBio**, lançado em 2016, foi desenvolvido para atender às metas do NDC ao certificar produtores para obtenção de créditos de descarbonização (CBIOS) a serem adquiridos pelas distribuidoras de combustíveis, considerando cotas anuais obrigatórias ou negociadas no mercado. Como resultado, o consumo de biocombustíveis vem aumentando constantemente no Brasil, seja pelo aumento da mistura regulamentada de biodiesel ou pela oferta de etanol hidratado (Goes *et al.*, 2020).

Além disso, a eficiência energética foi ampliada por meio de programas nacionais como o **Rota 2030**, baseado em incentivos fiscais à pesquisa e desenvolvimento, e o **Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV)** para referenciar e melhorar a competitividade do setor. Por fim, o Brasil avançou nos instrumentos de expansão da infraestrutura dos modos de transporte de alta capacidade. Entre 2010 e 2020, foram lançados os programas **Parcerias de Investimentos - PPI** (2016) e **Avançar** (2017), em substituição ao **Programa de Aceleração do Crescimento - PAC** (2007). Tais programas foram concebidos para promover investimentos em projetos estratégicos de infraestrutura, que incluem transportes, por meio de investimentos públicos ou parcerias público-privadas.

¹⁵ Mantendo o percentual de redução, mas retirando metas setoriais (Brasil, 2020).



Nota. (*) Aumento ou diminuição do teor de biocombustíveis no mesmo ano.

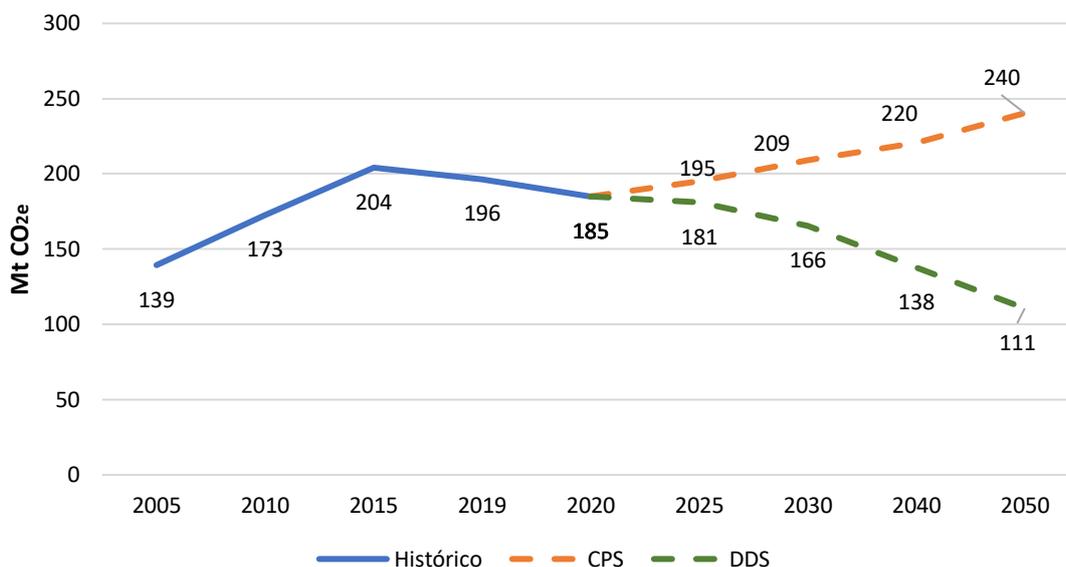
Fonte: Goes et al. (2022).

Figura 3. Evolução das medidas de mitigação no setor de transportes brasileiro

Embora tenham sido feitos progressos no combate às emissões de gases com efeito de estufa (GEE), não resolveram problemas estruturais. Tais problemas explicam, por exemplo, a perda de atratividade do transporte público e a baixa penetração da mobilidade elétrica no mercado local. Acresce que, tal como noutras economias, os compromissos assumidos e as ações lançadas focam em medidas tecnológicas de infraestrutura. A incorporação de medidas do lado da demanda é, então, uma tarefa importante para os tomadores de decisão brasileiros. As possíveis opções a esse respeito incluem evitar viagens (teleatividades, mudanças nos estilos de vida, normas sociais etc.), escolhas de tecnologia e energia, bem como mudanças na prestação de serviços e transições tecnológicas e sociais (Creutzig *et al.*, 2018).

O processo de seleção de instrumentos de políticos e oportunidades de investimento exigiu a análise de portfólios de compromissos assumidos e cenários prospectivos. Com a participação ativa de *stakeholders*, procurou-se traduzir as metas dos NAMAs e NDC em ações de mitigação, considerando o contexto local, para melhor representar as transformações necessárias para atender ou mesmo superar os compromissos assumidos. Além disso, os cenários prospectivos denominados “Current Policies” (CPS) e “Deep Decarbonization” (DDS) de La Rovere *et al.* (2021) e “Additional Mitigation” (CMA) de Unterstell e La Rovere (2021). As trajetórias de emissão de carbono dos cenários¹⁶ analisados estão ilustradas na Figura 4.

¹⁶ O horizonte temporal do CMA é de oito anos, com resultados equivalentes ao DDS até 2030. Por esse motivo, este cenário não foi incluído no gráfico.



Fonte: La Rovere et al. (2021).

Figura 4. Trajetórias de emissão de GEE nos cenários CPS e DDS – transportes

A partir dessas atividades, seis ações de mitigação foram desenhadas, conforme apresentado a seguir.

3.1. Eletrificação da Frota Brasileira

Apesar da falta de compromissos assumidos pelo governo brasileiro relacionados à eletrificação dos ônibus e a melhorias operacionais do transporte urbano de carga, os cenários local e internacional oferecem condições favoráveis para investimentos nessas áreas. No caso do transporte coletivo, a medida poderia estar vinculada a um conjunto de instrumentos políticos voltados à qualificação dos serviços de ônibus, aumentando sua atratividade e competitividade. Um forte argumento é a efetividade em melhorar uma pequena fração da frota de veículos que é responsável por grande parte da atividade de passageiros. Ao estimular o serviço de transporte por ônibus nas cidades, também são aceleradas transformações em sua configuração espacial, levando as pessoas a repensar o uso do transporte individual motorizado.

A eletrificação de caminhões urbanos surge como outra medida promissora, assim como no caso dos ônibus elétricos, a frota de caminhões leves é reduzida em relação ao número total de veículos em circulação, o que facilita o planejamento e a implementação eficazes de instrumentos de política, bem como oportunidades de investimento nessa área. Como a cobertura operacional das entregas de última milha é limitada, a necessidade de estações de recarga é reduzida. A viabilidade técnica desta medida de mitigação existe e requer condições semelhantes à opção anterior.

3.2. Ganhos de eficiência energética

Esta medida de mitigação está relacionada com a melhoria da eficiência energética dos motores, bem como melhorias operacionais na mobilidade de pessoas e cargas. Nessa linha, são consideradas melhorias tecnológicas em motores a combustão interna, como variações de motores de três cilindros, motores turbo de injeção direta, uso de sistemas *start/stop* e modos de operação econômicos (Modo Eco), entre outras melhorias lançadas no âmbito dos programas nacionais como o extinto Inovar Auto e o atual Rota 2030. Por fim, considera-se a melhoria dos programas de rotulagem ecológica na logística.

3.3. Melhorias no Transporte Público Urbano

Consideram-se medidas que enfatizam a prioridade do transporte público sobre o transporte individual, bem como a expansão dos sistemas atuais. Isso inclui otimização de rotas de ônibus, integração física e tarifária e implantação de corredores exclusivos para ônibus para aumentar a atratividade dos serviços de transporte público.

3.4. Reformulação de Sistemas de Transportes

O redesenho das redes de transporte busca equilibrar razoavelmente a divisão modal. Esta ação de mitigação passa pelo desenvolvimento de novos modelos de concessão, a par de um quadro regulatório para o transporte ferroviário e aquaviário, contemplando, no caso do transporte ferroviário, o direito de passagem entre diferentes concessões e o estímulo aos construtores e fornecedores equipamentos de linhas férreas. Além disso, são consideradas as realocações de concessões para linhas ferroviárias subutilizadas e inativas, bem como investimentos e financiamentos para pesquisa e desenvolvimento, educação e campanhas de conscientização.

3.5. Eletrificação de Sistemas de Transportes

A eletrificação das redes de transporte, especialmente as ferrovias de carga, pode ser considerada uma tarefa complementar ao redesenho das redes de transporte. Esta ação visa substituir as locomotivas de carga equipadas com sistemas de propulsão diesel-elétrico, modernizando as ferrovias de carga com cabos aéreos para o sistema elétrico em alta tensão ao longo das linhas.

3.6. Aumento do Uso de Biocombustíveis

Esta ação de mitigação visa ampliar os programas existentes voltados à produção e distribuição de biocombustíveis. Isso inclui o desenvolvimento de uma indústria nacional de biocombustíveis avançados baseados em biocombustíveis *drop-in*, que não apresentam restrições de mistura nos motores atuais.

O plano de mitigação setorial busca aprofundar a investigação dos problemas identificados e explorar alternativas. Com esse propósito, os principais instrumentos que poderiam ser abordados são apresentados na próxima seção.

4. Instrumentos

No relatório “Síntese de Barreiras” foram apresentadas as principais barreiras aos compromissos assumidos, após um processo de identificação e validação. Com base nessa atividade, foi proposto um conjunto de instrumentos políticos e financeiros para mitigar ou superar as barreiras identificadas. Algumas delas, principalmente relacionadas com a mobilidade elétrica, foram aprofundadas em novas discussões com *stakeholders* selecionados. A Tabela 1 resume as principais medidas de mitigação, instrumentos políticos e financeiros e suas barreiras relacionadas, considerando as revisões da literatura e entrevistas realizadas.

As barreiras são classificadas em E/F (econômicas/financeiras) e R/I (regulatórias/institucionais). O primeiro grupo representa barreiras intimamente relacionadas ao apoio financeiro que o governo ou instituições privadas poderiam empregar, enquanto o segundo grupo está relacionado a ações regulatórias ou políticas. De qualquer forma, todas as barreiras estão relacionadas aos dois grupos em algum nível. As medidas, propostas de políticas e correspondentes barreiras marcadas em negrito são atualmente as mais indicadas para serem abordadas. Os instrumentos de política marcados com um asterisco (*) são detalhados no apêndice.

Tabela 1. Transporte – Instrumentos de política e barreiras relacionadas identificadas no relatório anterior

Medidas	Barreiras	Tipo	Instrumentos
Eletrificação da frota de veículos	Incertezas relacionadas à infraestrutura e operacionalização	E/F	Benefícios para veículos elétricos <i>plug-in</i> , como acesso prioritário a vagas de estacionamento, faixas de ônibus e pedágios da cidade
	Falta de maturidade tecnológica e infraestrutura		Adoção de sistemas <i>Bonus/Malus</i>
	Falta de linhas de crédito específicas		Logística e infraestrutura para reciclagem e reaproveitamento de componentes
	Frota de veículos desatualizada		Incentivos financeiros para novos modelos de negócios e infraestrutura de recarga
	Forte flutuação cambial		Incentivos financeiros para atrair ou desenvolver indústrias domésticas de veículos elétricos
	Alto custo de aquisição		Isenção de impostos para investidores e operadores
	Alta carga tributária sobre investimentos	R/I	Investimentos em pesquisa e desenvolvimento em mobilidade elétrica
	Falta de fornecedores e fabricantes locais		Prazo para o fim das vendas de veículos movidos a combustíveis fósseis
	Falta de apoio para pesquisa e desenvolvimento		Desenvolvimento e aplicação de normas e regulamentos (*)
	A influência das atividades de <i>lobby</i> do mercado convencional		(*) Novos itens à Política Nacional de Mobilidade Urbana
	Falta de normas e regulamentos		Campanhas de educação e sensibilização para a mobilidade elétrica
	Aceitação de novas tecnologias no mercado		
	Falta de conhecimento sobre os benefícios econômicos da eletrificação		
Falta de conscientização, interesse ou envolvimento das autoridades locais			
Falta de ferramentas de medição, verificação e relatórios	Desenvolvimento e aplicação de ferramentas de mensuração, relato e verificação nos níveis federal e subnacional		
Ganhos de eficiência energética	Frota de veículos desatualizada	E/F	Programas de inspeção e sucateamento de veículos
	Falta de programas com metas específicas para veículos pesados	R/I	Aperfeiçoamento do programa nacional de etiquetagem, considerando também veículos pesados
Melhorias no transporte público urbano	Priorização do transporte individual motorizado	E/F	Investimentos em infraestrutura de transporte público e medidas prioritárias
			Subsídios do governo e isenções fiscais para o transporte público
			Adoção de sistemas <i>Bonus/Malus</i> ou fim dos incentivos fiscais para carros particulares

Medidas	Barreiras	Tipo	Instrumentos	
	Decisões baseadas apenas no aspecto econômico	R/I	Campanhas de educação e conscientização para investimentos sustentáveis e de longo prazo e mudanças de comportamento da população	
	Falta de linhas de crédito específicas		Acesso a instrumentos financeiros para investimentos verdes	
	Presença maciça de ônibus básicos¹⁷		(*) Linha de financiamento para ônibus de emissão zero	
	Falta de estudos técnicos, econômicos e ambientais assertivos		Investimento e financiamento de tecnologias mais eficientes	
	Excesso de custos em projetos de infraestrutura		Investimentos em pesquisa e desenvolvimento com foco em mobilidade urbana	
	Os modelos de concessão mal desenhados e adaptados às novas tecnologias		Apoio a municípios menores na estruturação de planos de mobilidade urbana	
	Insegurança jurídica nos contratos de concessão		Simplificação da burocracia, digitalização e transparência dos processos	
Eletrificação das redes de transporte	Falta de construtores e fornecedores ferroviários locais	E/F	Desenvolvimento de uma indústria nacional	
	Alta presença de ferrovias inativas ou subutilizadas		Realocações de concessão para linhas improdutivas	
	Falta de estudos e compromisso político		Recuperação e eletrificação de ferrovias subutilizadas e inativas	
	Falta de conhecimento sobre os benefícios econômicos da eletrificação		Investimentos e financiamento de pesquisa e desenvolvimento	
Redesenho de redes de transporte	Falta de corredores alternativos entre as principais zonas de importação/exportação e produção	E/F	Campanhas de educação e conscientização para investimentos sustentáveis e de longo prazo	
	Falta de estudos técnicos, econômicos e ambientais assertivos		Investimentos em terminais intermodais, ampliando o acesso a portos e ferrovias	
	Excessos de custos e obras inacabadas		Investimentos em pesquisa e desenvolvimento com foco na ecoeficiência de projetos de infraestrutura	
	Falta de fiscalização e controle das obras em andamento		Simplificação da burocracia, digitalização e transparência dos processos	
	Baixa disponibilidade de navios na cabotagem		Fornecer autonomia técnica, administrativa e financeira às agências reguladoras	
	Maiores custos com pilotagem e operação		Promoção da indústria naval brasileira. Redução de impostos para estaleiros e consumo de combustível. Aumento da oferta de pilotos, além de estímulo à competição de mercado	
	Baixa conectividade entre a rede aquática e ferroviária		R/I	Estudos específicos para estimular o transporte ferroviário e aquaviário, incluindo pavimentação, qualificação e criação de acessos rodoviários, bem como licenciamento de obras portuárias e dragagens
	Longas filas de navios esperando para serem carregados/descarregados nos principais portos			Operação portuária 24 horas por dia, 7 dias por semana
	Decisões baseadas apenas no aspecto econômico			Campanhas de educação e conscientização para investimentos sustentáveis e de longo prazo
	Modelos de concessão são mal projetados			Marco regulatório das concessões ferroviárias e aquáticas
Aumento do uso de biocombustíveis	Altos custos em pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e armazenamento de biocombustíveis alternativos	E/F	Desenvolvimento de novos modelos de concessão e revisão de contratos improdutivos	
			Investimentos de médio e longo prazo visando atender as demandas nacionais e internacionais	
	Políticas governamentais restritas ao biodiesel e ao etanol	R/I	Desenvolvimento e aplicação de normas e regulamentos	
			Misturas regulamentadas de bioquerosene na aviação e diesel verde no transporte de carga	
			Incentivos financeiros para desenvolver uma indústria nacional de biocombustíveis avançados	
			Aperfeiçoamento e renovação do Programa RenovaBio	

Fonte: Autores

Os principais instrumentos políticos e financeiros propostos para permitir potenciais avanços energéticos e ambientais, agrupados por medida de mitigação, são detalhados abaixo. Desta lista de instrumentos, dois foram escolhidos para serem aprofundados neste projeto: a revisão da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU);

¹⁷ Veículos com chassis e carrocerias não adequados para o transporte de passageiros.

e a revisão do programa de Renovação de Frota do Transporte Público Coletivo Urbano (Refrota). Detalhes e justificativas por trás dos instrumentos propostos são fornecidos nos apêndices.

- Eletrificação da frota de veículos:
- 'Adoção de sistemas *Bonus/Malus* e 'Incentivos financeiros para novos modelos de negócios e mecanismos de cobrança'

Os sistemas *Bonus/Malus* poderiam ser lançados como um meio de reduzir a atratividade dos veículos convencionais equipados com motores de combustão interna (MCI), redirecionando os subsídios intensivos em carbono para apoiar a transição energética. Nessa linha, o mecanismo de incentivo estaria baseado na redução dos preços dos veículos elétricos (VEs) concomitantemente ao aumento da carga tributária sobre os veículos MCI.

Fora isso, espera-se que a maioria das cargas de bateria no Brasil seja feita em residências, como no caso dos EUA, onde 80% das cargas estão concentradas em áreas residenciais (Wood *et al.*, 2017; D'Agosto *et al.*, 2020). Este também é o caso do Transporte Urbano de Cargas (TUC), considerando as garagens dos operadores, já que a autonomia da bateria cobre a maior parte das operações diárias. Portanto, esses tipos de atividades em áreas urbanas não teriam fortes necessidades de investimento além da aquisição de tecnologia. Ainda assim, o transporte de longa distância e os serviços de ônibus exigiriam intervenções, seja na infraestrutura de cobrança, seja no modelo de negócios do serviço.

Os investimentos necessários para aprimorar os modelos de negócios voltados à mobilidade elétrica estão intimamente relacionados aos estudos técnicos e à capacitação de urbanistas e operadores (discutidos no próximo tópico). Por sua vez, os investimentos em infraestrutura de recarga podem vir de entidades privadas interessadas, incluindo concessionárias de energia e distribuidoras de combustíveis, do governo ou de parcerias público-privadas. Experiências recentes apontam para uma mudança na estratégia dos fornecedores de energia convencional, visando prover a infraestrutura de recarga neste novo mercado.

- Investimentos em pesquisa e desenvolvimento focados em mobilidade elétrica

Tais instrumentos abrangem investimentos de entidades públicas e privadas em pesquisa e treinamento para melhorar o desempenho e reduzir os custos de recursos tecnológicos, como gerenciamento de demanda de recarga de VEs, desempenho da rede elétrica, ciclo de vida da bateria e dispositivos de armazenamento de energia. Pesquisa e desenvolvimento financiados pelo governo federal em veículos elétricos em universidades podem fornecer profissionais qualificados para atender às necessidades do mercado. No entanto, esse financiamento deveria se concentrar em pesquisas transformacionais e no desenvolvimento de baterias e componentes que não seriam financiadas por empresas privadas.

A indústria de baterias no Brasil tem grande predominância de empresas de capital nacional, representando 75% do mercado. Apesar disso, a indústria nacional se concentra na produção de baterias de chumbo-ácido utilizadas em veículos MCI. Existem ainda oportunidades para desenvolver competências focadas em baterias de fosfato de ferro-lítio (LFP), óxido de cobalto, manganês, níquel e lítio (NMC) ou e seus componentes (PNME, 2020).

Nesse sentido, estratégias que misturem planos nacionais (*top-down*) com iniciativas locais (*bottom-up*) emergem como um caminho interessante. Por exemplo, a China investiu fortemente na indústria doméstica de baterias e veículos elétricos por meio de planejamento central e iniciativas descentralizadas (em cidades-piloto). Os incentivos governamentais para a produção doméstica de VEs também atraíram indústrias de países como Japão e Coreia do Sul (Lutsey *et al.*, 2018).

Diferentemente dos serviços de transporte por ônibus, faltam estudos relevantes com foco na mobilidade elétrica no TUC. Portanto, estudos devem ser desenvolvidos para incentivar a eletrificação desse segmento. A paridade de custos dos caminhões elétricos com as alternativas a diesel é um importante fator de aceitação, que só deve ocorrer quando o Custo Total de Propriedade (TCO) da nova tecnologia for percebida como vantajosa pelos operadores, não apenas pela academia ou governo. Atualmente, o TCO de VEs é vantajoso para aplicações de última milha realizadas por baterias com autonomia de até 100 km.

- Desenvolvimento e aplicação de normas e regulamentos para mobilidade elétrica

Lançada em 2012, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei Federal nº 12.587) não enfatiza a necessidade de reduzir a dependência do óleo diesel mineral no transporte de cargas e passageiros, problema crítico do setor. Além disso, as diretrizes não sugerem uma mudança na tecnologia convencionalmente adotada nas cidades brasileiras (ônibus do tipo “básico”), nem expressam as condições para a introdução de tecnologias emergentes, como ônibus e caminhões elétricos. As menções relacionadas a GEE ou poluentes se limitam ao monitoramento dos níveis de emissão e à criação de áreas restritas. Portanto, adicionar novos incisos e alíneas a parágrafos da PNMU, especificamente no que diz respeito à introdução de veículos com emissão ultrabaixa (ULEV¹⁸) nas áreas metropolitanas, é um dos dois principais instrumentos sugeridos no escopo deste estudo (ver apêndices para mais detalhes).

Além da revisão da política nacional e do enfrentamento das deficiências dos sistemas jurídico e judiciário, a mobilidade elétrica ainda enfrenta algumas lacunas quanto à padronização de componentes, produtos e processos. Quase vinte variações de conectores de recarga EV estão atualmente disponíveis no mercado global. Localmente, os plugues mais adotados são Tipo 2, CCS Combo 2, J-1772, CHAdeMO e Wall. Dentre eles, os conectores Tipo 2 (AC) e CCS Combo 2 (DC) são os mais representativos no Brasil, equipando mais de 80% dos modelos de veículos elétricos e híbridos.

Assim, deve-se estabelecer uma arquitetura comum para o sistema de recarga de VEs, incluindo requisitos operacionais e dimensionais para os conectores de entrada do veículo correspondentes para acelerar a penetração no mercado. É o caso das normas técnicas implementadas nos Estados Unidos (SAE J1772/2009) e na França (NF EN 62196-2/2017). Em 2020, a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) propôs que os postos de recarga de corrente alternada proovessem, pelo menos, conectores Tipo 2. Por sua vez, recomenda-se que as estações de recarga DC devam ter pelo menos três tipos de conectores, mas necessariamente um deles deva ser o CCS

¹⁸ Variando de veículos elétricos a bateria/célula de combustível a híbridos *plug-in* e elétricos com autonomia estendida.

Combo 2 (D'Agosto *et al.*, 2020). Para serem válidas, tais recomendações devem ser aceitas e implementadas por instituições apropriadas, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

No que respeita à interoperabilidade, é fundamental a exigência de comunicação via internet nos postos de recarga públicos e privados. Um dos objetivos é disponibilizar ao público dados para estudos de segurança energética, planeamento urbano etc. A comunicação entre os postos de recarga e o sistema central de gestão deve funcionar através de um protocolo aberto. Assim, o usuário pode experimentar a flexibilidade de usar estações de recarga de diferentes provedores. Destaca-se também a necessidade de padronização do modelo de cobrança em função do tempo gasto ou consumo de energia. Por último, as plataformas eRoaming seriam um avanço importante na interoperabilidade, que incluiria um conjunto de opções de pagamento, incluindo sistemas de pagamento manual e eletrônico.

Em relação à aprovação de modelos, é necessário um maior nível de detalhamento nas bases de dados nacionais para melhorar a precisão dos balanços energéticos, inventários de emissão atmosférica e outras análises sociais, econômicas e ambientais. Os reguladores devem, por exemplo, proceder à inclusão da fonte de energia (gasolina, diesel etc.) no registro do veículo elétrico híbrido (HEV).

- Campanhas de educação e sensibilização para a mobilidade elétrica

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima, como instrumento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), define ações e medidas para enfrentar os efeitos do aquecimento global. Um dos objetivos é promover educação, capacitação e comunicação sobre políticas climáticas (Brasil, 2021). Embora atenção crescente tenha sido dada nos últimos anos, as capacidades e inovações no Brasil em relação à mobilidade elétrica ainda estão em estágio inicial (PNME, 2020).

Estudos e campanhas de conscientização devem superar barreiras à aceitação do mercado de VEs por usuários e tomadores de decisão (Sclar *et al.*, 2019). Nesse sentido, estratégias devem ser fornecidas para superar inseguranças relacionadas ao: (i) desempenho de longo prazo da bateria, requisitos de manutenção e valor residual; (ii) incertezas de mercado em países emergentes, cujas economias ainda não atingiram a escala de produção de baterias e outros elementos necessários para reduzir o custo do sistema de propulsão; e (iii) questões geopolíticas e econômicas relacionadas à distribuição de baterias e à concentração da produção de VEs em alguns países.

O Brasil pode aprender com as principais iniciativas globais e abastecer o mercado sul-americano com o desenvolvimento de uma indústria doméstica de VEs (Slowik *et al.*, 2018). Como o transporte rodoviário é dominante na divisão modal, o Brasil possui uma das maiores frotas de ônibus e caminhões do mundo. Possuir a capacidade intelectual e produtiva do sistema de propulsão e componentes é uma tarefa estratégica para o Brasil

- Melhorias no transporte público urbano:
 - ‘Investimentos em infraestrutura de transporte público e medidas prioritárias’ e ‘Desenvolvimento de novos modelos de licitação’

Conforme mencionado no relatório “Visão Geral das Barreiras (Brasil)”, o transporte público está continuamente perdendo passageiros para outros modos de transporte. Embora a proporção da população urbana no país tenha aumentado de 78% para 86% entre 1996 e 2016, o número anual de passageiros transportados pelo transporte público urbano por ônibus caiu 30% (CNT, 2018; NTU, 2018; Knoema, 2020). Isso pode estar associado, entre outros motivos, ao histórico de políticas públicas voltadas ao uso individual do transporte motorizado de passageiros no Brasil.

A literatura e as consultas anteriores aos principais *stakeholders* indicam que o modelo de negócios existente é uma barreira crítica para reverter essa tendência, especialmente quando o mercado exige mobilidade elétrica, integração modal e medidas prioritárias. Assim, um melhor equilíbrio entre demanda, oferta e qualidade do serviço, com equidade tarifária e foco no atendimento ao cliente, é necessário para aumentar a atratividade dos serviços de transporte por ônibus.

A mudança do modelo de negócios convencionalmente adotado é um importante instrumento de política, especialmente em termos de propriedade de ônibus e política tarifária. No modelo de negócios convencional, a responsabilidade de investir em novos veículos e infraestrutura é do operador. No entanto, o fator de risco decorrente da insolvência financeira das operadoras e da constante judicialização dos contratos reduz significativamente a oferta de crédito pelas instituições financeiras. Essa situação deixa pouco espaço para investimentos em tecnologias emergentes, que demandam um custo de aquisição mais elevado.

Em um modelo alternativo, dentre vários outros a considerar, a autarquia/governo assume a responsabilidade pela aquisição da frota de ônibus e da infraestrutura de recarga, mediada por certame específico, cedendo-as aos operadores. Por sua vez, os operadores são remunerados pela prestação do serviço concessionado e pagam a renda pela utilização do veículo e da infraestrutura de recarga. Isso estaria vinculado a medidas prioritárias (faixas exclusivas para ônibus, equidade tarifária etc.) e restrições ao uso de automóveis (pedágios urbanos, redução ou encarecimento do espaço disponível para estacionamento etc.).

- Revisão das modalidades tarifárias e contratos vigentes

No Brasil, as tarifas de transporte público geralmente cobrem todos os custos e despesas da operação, com pouco espaço para melhorias operacionais ou subsídios. No entanto, quando o número de usuários pagantes diminui, como observado nos últimos anos, os impactos negativos na receita tendem a se converter em reajustes tarifários. Esse círculo vicioso de queda de demanda e aumento de tarifas (acima da inflação) reduz continuamente a atratividade do serviço de transporte por ônibus no Brasil.

Nesta conjuntura, surge uma oportunidade para novos modelos de negócios que repensam os métodos de cálculo de tarifas. Uma possibilidade é reduzir o papel das operadoras de ônibus na gestão de todos os custos do serviço, transferindo a responsabilidade por alguns ativos para uma entidade com maior poder de barganha. Outra possibilidade é a imposição de cláusulas contratuais que condicionem benefícios ou reajustes tarifários a ganhos de

eficiência operacional. Ainda assim, essas possibilidades devem ser contempladas por um amplo estudo sobre o tema, preferencialmente conduzido e divulgado pelo governo federal.

- Acesso a instrumentos financeiros para investimentos verdes

Dois bancos brasileiros, a Caixa Econômica Federal (por meio do Programa Refrota) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (por meio da Agência Especial de Financiamento Industrial - FINAME), são os principais credores que as operadoras de ônibus consideram ao renovar sua frota. No entanto, uma melhor apreciação de tecnologias de baixa ou zero emissão ajudaria a reduzir a dependência energética de combustíveis fósseis e a percepção comum de maiores riscos envolvendo tecnologias alternativas. Isso é especialmente verdadeiro no caso do Programa Refrota, pois as tarifas oferecidas são as mesmas para os ônibus elétricos e convencionais (básicos). Assim, a linha de financiamento de ônibus emissão zero no âmbito do Programa Refrota é o segundo instrumento recomendado no escopo deste projeto (ver apêndices para maiores detalhes).

Além disso, o crédito pode vir de fontes internacionais específicas dedicadas a projetos que promovam a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, como fundos verdes e papéis comerciais emitidos por instituições financeiras ou empresas. O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) promove o financiamento de projetos sustentáveis em países da América Latina e do Caribe por meio de fundos verdes internacionais, como o GCF e o GEF.

Internamente, os credores também poderiam implementar mecanismos baseados nas melhores práticas internacionais, como o Pay as You Save (PAYS), o Cleaner Transport Facility (CTF) e o Zero Emission Urban Bus System (ZeEUS). Cada mecanismo de financiamento busca alavancar investimentos em transporte sustentável, com algumas diferenças. O PAYS representa uma operação de financiamento estruturada em que a concessionária de energia ou o município investe em baterias e estações de recarga, recuperando custos ao cobrar do operador do serviço de ônibus pelo uso dos ativos. O CTF se concentra em modelos de custeio do ciclo de vida, que envolvem instrumentos de compartilhamento de riscos, ao mesmo tempo em que alavancam fundos do setor privado em contraste a modelos tradicionais que exigem maior investimento de capital. Por último, a ZeEUS obtém fundos do Banco Europeu de Investimento (BEI) por meio do Cleaner Transport Facility (CTF). O BEI concede financiamento a longo prazo em parceria com o setor privado, ao mesmo tempo que apoia investimentos fora da UE. Os modelos de financiamento são diferentes para cada país membro.

- Eletrificação das redes de transporte:
 - Investimentos e financiamento de pesquisa e desenvolvimento

Uma das razões para a ainda baixa penetração de locomotivas elétricas no transporte de carga brasileiro são os altos custos envolvidos. Nesse caso, além dos mecanismos de financiamento listados no tópico anterior, as empresas interessadas com credibilidade e reputação podem emitir títulos verdes ou Debêntures Vinculadas à Sustentabilidade (SLD) para captar recursos. Recentemente, uma empresa ferroviária brasileira, assim como uma

empresa de telecomunicações, levantou capital da SLD. No entanto, a empresa ferroviária não associou o capital angariado à eletrificação das ferrovias, mas a outras medidas de sustentabilidade (Rumo, 2021).

Portanto, o desenvolvimento de estudos sobre a implantação de ferrovias elétricas no Brasil deve aumentar a frequência dessa medida de sustentabilidade entre as opções das empresas. Isso inclui estratégias para fornecer eletricidade de alta tensão (e depósitos de manutenção) em longas distâncias e substituir as atuais locomotivas diesel-elétricas por outras totalmente elétricas.

- Redesenho de redes de transporte:
 - Marco regulatório para concessões ferroviárias e hidroviárias

A maior utilização do transporte ferroviário depende da solução de conflitos urbanos, como, por exemplo, o elevado número de passagens de nível e invasões de faixa de rodagem. Um marco regulatório que cubra essas impedâncias, por exemplo, reduzindo as barreiras ao compartilhamento de infraestrutura entre diferentes empresas, é necessário para reduzir a insegurança jurídica nas concessões atuais e aumentar o interesse em novas ferrovias.

No caso do transporte aquático, é necessário um marco regulatório que estimule o desenvolvimento da indústria naval brasileira, principalmente atrelado ao aumento da oferta, regularidade e unificação de documentos e acessos (a exemplo do sistema 'Porto sem Papel'). Quanto a este último ponto, apesar de ser um transporte local, a cabotagem exige um volume de documentos e procedimentos portuários como os da navegação de longo curso (CNT, 2018). Isso aumenta o custo do serviço, reduzindo sua atratividade em relação ao transporte rodoviário.

- Aumento do uso de biocombustíveis:
 - Aperfeiçoamento do Programa RenovaBio, introduzindo biocombustíveis avançados e alternativos

Esta década representa uma oportunidade para avançar nas condições técnicas e políticas que sustentam os mercados domésticos de bioquerosene e bio-óleo. A falta de políticas públicas para adoção de misturas avançadas de biocombustíveis, associada ao aumento do custo de manutenção de veículos comerciais leves, caminhões e ônibus movidos a altas misturas de biodiesel (acima de 10%), são barreiras importantes para o mercado.

Assim, são necessários incentivos para biocombustíveis *drop-in*, principalmente com foco na complementação de misturas de biodiesel (de 10% em diante). Os tomadores de decisão locais devem estar atentos aos próximos passos da Organização Marítima Internacional (IMO) e da Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO), buscando ampliar as oportunidades comerciais e fortalecer a posição do Brasil como importante produtor de novos biocombustíveis avançados. Deve-se, outrossim, considerar o aprimoramento e a renovação do Programa RenovaBio.

5. Referências

- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2019). Resolução nº 778/2019. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2020). Boletim Trimestral de Preços e Volume de Combustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2021). Resolução nº 842/2021. Especificação do gasóleo verde, bem como as obrigações de controlo de qualidade a cumprir pelos agentes económicos. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- ANPTrilhos - Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros nos Trilhos. Propostas para o Avanço da Mobilidade Urbana Nacional. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- ANTP - Associação Nacional dos Transportes Públicos (2022). Um novo modelo de contratação. Disponível em: <https://http://www.antp.org.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil - Ministério do Meio Ambiente (2010). Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas do Brasil. Disponível em: <https://unfccc.int>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (2014). Primeiro Relatório Bienal de Atualização do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: República Federativa do Brasil, 2014. Disponível em: <https://gov.br/mcti/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil (2015). Contribuição Nacionalmente Determinada Pretendida para atingir o objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática. Disponível em: unfccc.int. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil - Ministério das Relações Exteriores. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (2017). Segundo Relatório Bienal de Atualização do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: República Federativa do Brasil, 2017. Disponível em: <https://gov.br/mcti/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil. Ministério da Infraestrutura (2018). Plano de Ação para Redução das Emissões de CO₂ da Aviação Civil Brasileira. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil - Ministério do Desenvolvimento Regional (2018). Livro de Referência Técnica: Eficiência Energética na Mobilidade Urbana. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia (2019). Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- Brasil (2020). Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (submissão atualizada). Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática. Disponível em: unfccc.int. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Bunsen, T., Cazzola, P., Gomer, M., Paoli, L., Scheffer, S., Schuitmaker, R. & Teter, J. (2018). Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification.
- CNPE - Conselho Nacional de Política Energética (2021). Estabelece a redução da obrigatoriedade da mistura de biodiesel ao diesel fóssil de 13% para 10%, no 79º Leilão de Biodiesel. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- CNT - Confederação Nacional dos Transportes (2018). Transporte move o Brasil: proposta da CNT aos candidatos - Brasília: CNT, 2018. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- CNT - Confederação Nacional do Transporte (2018b). Anuário CNT do Transporte. Estatísticas consolidadas; 2018. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- Creutzig, F., Roy, J., Lamb, W. F., Azevedo, I. M., Bruine de Bruin, W., Dalkmann, H.,... & Weber, E. U. (2018). Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nature Climate Change*, 8(4), 260-263.
- D´Agosto, M. A. Gonçalves D. N. S. Vai G.V. Bandeira R.A.M. Costa M. G. (2020). Normas e regulamentos para a mobilidade para Veículos Elétricos elétricos no enquadramento do Brasil Análise internacional e propostas de N&R para o contexto brasileiro. PROMOB-e Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

- Dantas, G., Siciliano, B., Freitas, L., de Seixas, E. G., da Silva, C. M., & Arbilla, G. (2019). Por que os níveis de ozônio permaneceram altos no Rio de Janeiro durante a greve dos caminhoneiros brasileiros? Pesquisa de Poluição Atmosférica.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2020). Plano Nacional de Energia 2050 - Versão para Consulta Pública; 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2021). Balanço Energético Nacional - 2021. Ano Base 2020, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2022). Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- EPL - Empresa de Planejamento e Logística (2018). Plano Nacional de Logística. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., La Rovere, E. L., & de Mello Bandeira, R. A. (2020). 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. D'Agosto, M. A. Araldi, F. Why electric mobility should be treated as the main instrument of transport climate policy in the next rounds of the Brazilian NDC. Available at: <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2022/03/Policy-Brief-Transport-in-Brazil.pdf>. Accessed on 01 April 2022.
- 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.
- Grottera, C., Napolini, G. F., La Rovere, E. L., Gonçalves, D. N. S., de Farias Nogueira, T., Hebeda, O., Goes, G.V. & Lefèvre, J. (2022). Energy policy implications of carbon pricing scenarios for the Brazilian NDC implementation. *Energy Policy*, 160, 112664.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2020). Plano Decenal de Expansão de Energia 2029, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2021). Balanço Energético Nacional - 2021. Ano Base 2012, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- EPL - Empresa de Planejamento e Logística (2018). Plano Nacional de Logística. Disponível em: <https://epl.gov.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD COVID19. Tabelas - agosto de 2020 - semana 2. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- IEA - International Energy Agency. *Global Energy Review 2021*. Available at: <https://iea.org>. Accessed on 01 April 2022.
- IEMA - Instituto de Energia e Ambiente. *Boletim Monitor de Barramento SP*. Terceira edição. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- Knoema (2020), Population estimates and projections. Available at: <https://pt.knoema.com/atlas/Brasil/Popula%C3%A7%C3%A3o-urbana-percent-do-total>. Accessed on 01 January 2022.
- La Rovere et al. (2019a). Indicators for progress monitoring in the achievement of NDC targets in Brazil. Rio de Janeiro: Centro Clima, 2019. Available at: <http://centroclima.coppe.ufrj.br>. Accessed on 01 January 2022.
- La Rovere et al. (2019b). Preparation of modeling to estimate the socioeconomic impacts of the adoption of a carbon pricing - PMR Project Brazil. Rio de Janeiro: Centro Clima, 2020. Available at: <http://centroclima.coppe.ufrj.br>. Accessed on 01 January 2022.
- La Rovere E., Dubeux C., Wills W. Walter, K. C., Napolini, G. Hebeda O., Gonçalves D. N. S., Goes, G. V., D'Agosto M. A., Nogueira E. C., Cunha H. F., Gesteira C., Treut G., Cavalcanti G., Bermanzon M. (2021). Policy lessons on deep decarbonization in large emerging economies. Available at: <https://www.iddri.org/en/publications-and-events/report/policy-lessons-deep-decarbonization-large-emerging-economies>. Accessed on 01 January 2022.
- Lutsey, N.; Grant, M.; Wappelhorst, S.; Zhou, H. Power play: How governments are spurring the electric vehicle industry. *Int. Counc. Clean Transp.* - ICCT 2018, doi:10.13140/RG.2.2.12294.47683.

- NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Anuário NTU 2017-2018; Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.ntu.org.br>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. COVID-19 e o Transporte Público por Ônibus: Impactos no setor e ações realizadas; Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos: Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.ntu.org.br>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- PNME - Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (2020). 1º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- Natalie Unterstell e Emílio La Rovere, coord. (2021). Climate and Development: Visions for Brazil 2030. Available at: <www.climaesociedade.org>. Accessed on 01 January 2022.
- Rumo. Rumo capta R\$ 1,5 bilhão em SLD (Debêntures Vinculadas à Sustentabilidade), na maior e mais longa emissão desta modalidade. Disponível em: <https://rumolog.com>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- Sclar, R., Gorguinpour, C., Castellanos, S., & Li, X. (2019). Barriers to adopting electric buses.
- Slowik, P.; Araujo, C.; Dallmann, T.; Façanha, C. International Evaluation of Public Policies for Electromobility in Urban Fleets; 2018.
- SPTrans - São Paulo Transportes (2022). Especificações técnicas do veículo. Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/manuais-tecnicos-e-resolucoes/acessibilidade-especificacoes-tecnicas/>. Acesso em 01 de abril de 2022.
- Wood, E. W., Rames, C. L., Muratori, M., Srinivasa Raghavan, S., & Melaina, M. W. (2017). National plug-in electric vehicle infrastructure analysis (No. NREL/TP-5400-69031; DOE/GO-102017-5040). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (Estados Unidos).

Apêndice 1 – Instrumentos Propostos

A1.1. Instrumento 1 – Novos itens à Política Nacional de Mobilidade Urbana

Conforme discutido na apresentação do setor, o incentivo à mobilidade elétrica ou ao uso de ULEVs não está incluído nos compromissos assumidos pelo Brasil. A falta de compromissos reflete a ausência de um instrumento nacional sobre o tema. Além disso, a Lei Federal nº 12.587/2012, que institui a PNMU, também não trata de diretrizes relacionadas à mobilidade elétrica ou ULEVs. Para preencher essa lacuna, foram feitas regulamentações em nível municipal. Por exemplo, o município de São Paulo planeja eliminar as emissões de CO₂ de origem fóssil e reduzir as emissões de NOx e MP em 95% até 2038 (Lei Municipal nº 16.802/2018). Antes disso, a Lei Municipal nº 14.933/2009 tentou proibir o uso de ônibus a diesel até 2018, o que não foi cumprido. Apesar dos esforços, o município caminha lentamente rumo à meta estabelecida por lei e contratos (IEMA, 2021).

Parte dos obstáculos enfrentados pelos municípios decorre da falta de uma diretriz nacional clara sobre o assunto. Portanto, iniciativas descentralizadas podem não gerar os resultados esperados. Do lado da oferta, a ausência de uma diretriz nacional compromete o processo de planejamento da indústria de veículos elétricos ao definir uma agenda para o Brasil. Esse problema foi apontado por representantes de fabricantes do Brasil, Argentina, Colômbia e México no evento “Capacidade de produção de ônibus elétricos na América Latina”, realizado em 9 de junho de 2022. Apesar da existência de capacidade, a falta de metas governamentais impacta investimentos na indústria local. Em situação favorável, a produção de baterias em parceria com países vizinhos poderia ser avaliada para evitar a volatilidade do câmbio.

De acordo com a Lei Federal nº 12.587/2012, a PNMU busca integrar os diferentes modos de transporte e melhorar a acessibilidade e mobilidade de pessoas e cargas nos municípios. No entanto, as recentes mudanças tecnológicas e comportamentais não foram contempladas pela lei no momento da promulgação. A regulamentação dos aplicativos de carona é um exemplo, pois esse novo mercado só foi incluído na PNMU seis anos depois (Lei Federal nº 13.640/2018). Da mesma forma, o mercado de veículos elétricos, praticamente inexistente no Brasil, poderia ser fortalecido com mudanças na Lei Federal nº 12.587/2012. Assim, as novas redações ou adições de incisos e alíneas a parágrafos existentes estão marcadas em negrito na tabela abaixo.

CAPÍTULO I (SEÇÃO II): PRINCÍPIOS, DIRETRIZES E OBJETIVOS DA POLÍTICA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA

Artigo 6	Item atual	II – prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado
	Item proposto (nova redação)	II – prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado e veículos com emissão ultrabaixa sobre veículos movidos a combustíveis fósseis
Artigo 8	Item proposto (adição)	XI – incentivando o uso de veículos com emissão ultrabaixa

CAPÍTULO V: DIRETRIZES PARA PLANEJAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DE MOBILIDADE URBANA

Artigo 22	Item atual	III – implantar a política tarifária
	Item proposto (nova redação)	III – implantar a política tarifária, incluindo a possibilidade de alteração do modelo de negócio
Artigo 23	Item atual	III – aplicação de tributos sobre modos e serviços de transporte urbano pela utilização da infraestrutura urbana, visando a desestimular o uso de determinados modos e serviços de mobilidade, vinculando-se a receita à aplicação exclusiva em infraestrutura urbana destinada ao transporte público coletivo e ao transporte não motorizado e no financiamento do subsídio público da tarifa de transporte público, na forma da lei
		IV – dedicação de espaço exclusivo nas vias públicas para os serviços de transporte público coletivo e modos de transporte não motorizados
		V – estabelecimento da política de estacionamentos de uso público e privado, com e sem pagamento pela sua utilização, como parte integrante da Política Nacional de Mobilidade Urbana
	Item proposto (nova redação)	III – aplicação de tributos sobre modos, tecnologias e serviços de transporte urbano pela utilização da infraestrutura urbana, visando a desestimular o uso de determinados modos, tecnologias e serviços de mobilidade, vinculando-se a receita à aplicação exclusiva em infraestrutura urbana destinada ao transporte público coletivo e ao transporte não motorizado e no financiamento do subsídio público da tarifa de transporte público, na forma da lei
Item proposto (nova redação)	IV – dedicação de espaço exclusivo nas vias públicas para os serviços de transporte público coletivo, caminhões e automóveis elétricos a bateria , e modos de transporte não motorizados	
	V – estabelecimento da política de estacionamentos de uso público e privado, com e sem pagamento pela sua utilização, como parte integrante da Política Nacional de Mobilidade Urbana	
Artigo 24	Item atual	III – as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, incluindo as ciclovias e ciclofaixas
	Item proposto (nova redação)	III – as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, incluindo as ciclovias e ciclofaixas, bem como infraestrutura de recarga de veículos elétricos
	Item proposto (adição)	XII – a rede elétrica para atender a demanda por infraestrutura de veículos elétricos, garantindo a estabilidade
		XIII – metas de mitigação das emissões de GEE e poluentes atmosféricos do transporte individual motorizado, transporte público coletivo e transporte de carga para o médio e longo prazo
	a) Médio prazo significa um período inferior a 10 anos	
	b) Longo prazo significa um período superior a 10 anos	

CAPÍTULO V: DIRETRIZES PARA PLANEJAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DE MOBILIDADE URBANA		
		<p>XIV – metas de redução de ruído de veículos automotores, considerando transporte individual motorizado, serviços de transporte público coletivo e transporte de carga para o médio e longo prazo</p> <p>a) Médio prazo significa um período inferior a 10 anos</p> <p>b) Longo prazo significa um período superior a 10 anos</p>
		<p>XV – metas de melhoria do nível de serviço do transporte público coletivo para o médio e longo prazo</p> <p>a) Médio prazo significa um período inferior a 10 anos</p> <p>b) Longo prazo significa um período superior a 10 anos</p>
		<p>XVI – se aplicável, metas de redução da participação de ônibus básicos na frota do sistema de mobilidade urbana para o médio e longo prazo</p> <p>a) Médio prazo significa um período inferior a 10 anos</p> <p>b) Longo prazo significa um período superior a 10 anos</p>

O objetivo é propor poucos ajustes, mas precisos. Portanto, a presente proposta introduz o conceito de ULEVs na lei e enfatiza sua preferência em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis. Isso fica claro nas novas versões dos artigos seis e oito do capítulo 1. Os aspectos técnicos que facilitam a introdução dos ULEVs na mobilidade urbana estão contemplados nos artigos 22, 23 e 24 do capítulo 5. Por fim, incisos e alíneas estabelecendo metas de médio e longo prazo a serem considerados em planos de mobilidade urbana ou contratos de concessão são delineados, devendo ser revisados em momentos futuros, com base no monitoramento contínuo da execução. Reforça-se que os planos de mobilidade urbana já são exigidos por lei e devem ser revisados periodicamente pelos municípios com mais de 20.000 habitantes.

As sugestões acima são boas práticas adotadas em outros países. Nos EUA, os ULEVs têm permissão para acessar faixas de veículos de alta ocupação (High-Occupancy Vehicle Lane – HOV), também conhecidas como faixas de *carpool* (23 Código dos EUA §166 – instalações HOV). Atualizar o PNMU, incluindo o conceito de pista HOV, que ainda está ausente no Brasil, e considerar os ULEVs entre as categorias cobertas seria uma boa prática.

Esse instrumento, se implementado, complementaria a segunda proposta (Linha de financiamento para ônibus zero emissão do Programa Refrota). Ao promulgar uma lei que expressa a prioridade dos ULEVs sobre os veículos movidos a combustíveis fósseis, indicando também a necessidade de reduzir a circulação de ônibus do tipo básico, a proposta do segundo instrumento seria fortalecida. A atualização proposta do PNMU também aumentaria a atratividade das duas oportunidades de investimento listadas nos apêndices. As atividades que podem estar envolvidas no processo de ratificação do instrumento proposto estão ilustradas na Figura 5.

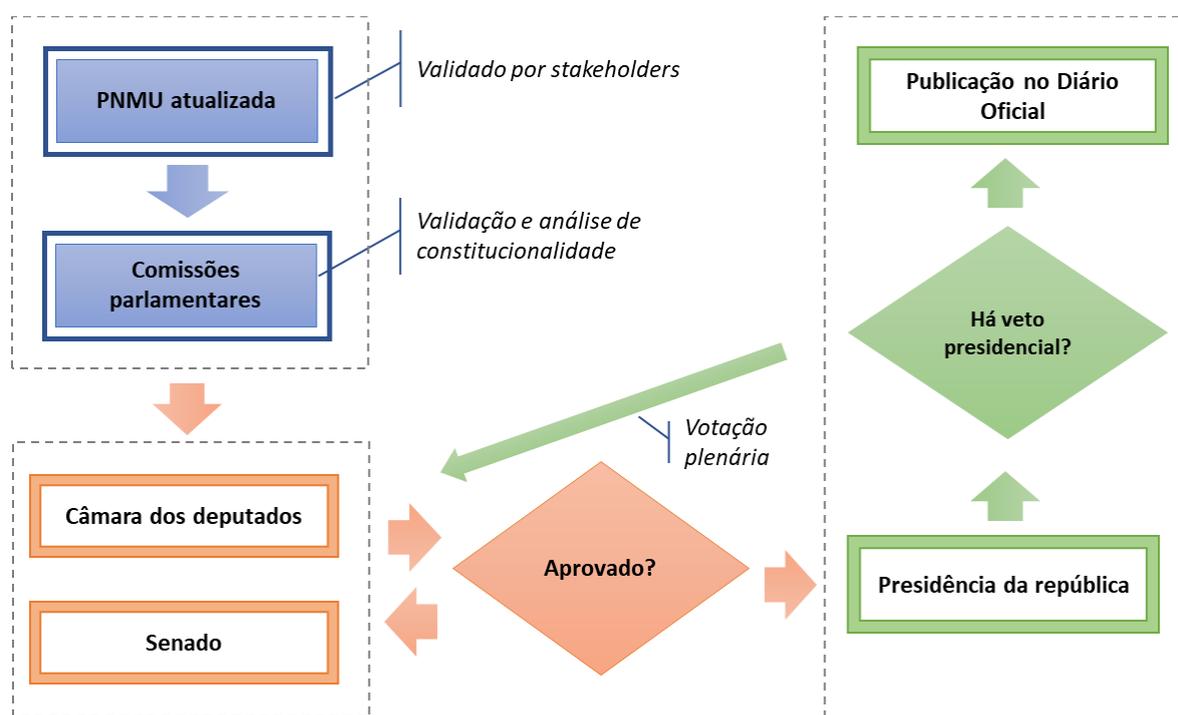


Figura 5. Atividades envolvidas no processo de publicação do instrumento I

Fonte: Autores

Atualmente, um grupo de estudos envolvendo ministérios e entidades setoriais brasileiras está analisando formas de melhorar as regulamentações existentes sobre o transporte público. O instrumento poderia então ser incorporado à mobilização de forças em curso, acelerando sua implementação.

Em uma visão mais ampla, o instrumento proposto deve ajudar a superar as barreiras relacionadas à mobilidade elétrica e ao transporte público urbano no Brasil. Mais especificamente, as seguintes barreiras seriam potencialmente afetadas: (i) incertezas relacionadas à infraestrutura e operacionalização; (ii) falta de maturidade tecnológica e infraestrutura; (iii) aceitação de novas tecnologias no mercado; (iv) falta de conscientização, interesse ou envolvimento das autoridades locais; (v) falta de ferramentas de medição, verificação e relatórios; (vi) presença massiva de ônibus básicos; (vii) modelos de concessão mal desenhados e adaptados às novas tecnologias; (viii) insegurança jurídica nos contratos de concessão.

A1.2. Instrumento 2 – Linha de Financiamento para Ônibus Zero Emissão do Programa Refrota

O programa Refrota, apoiado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e gerido pela Caixa Econômica Federal (CEF)¹⁹, visa aumentar a eficiência das operadoras de ônibus e a qualidade de vida dos moradores das cidades por meio da renovação da frota. Os recursos do programa são provenientes do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS). Os veículos abrangidos pelo programa são classificados em duas categorias:

- Tipo 1: miniônibus²⁰, micro-ônibus²¹, ônibus midi²² e ônibus básicos²³;
- Tipo 2: ônibus padron²⁴, ônibus articulado²⁵ e ônibus biarticulado²⁶.

As condições atualmente oferecidas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Elementos e detalhes da linha de financiamento atual

Elemento ²⁷	Descrição	
Tipo 1	Miniônibus, micro-ônibus, ônibus midi e ônibus básicos	
Tipo 2	Ônibus padron, ônibus articulado e ônibus biarticulado	
Período de carência	Tipo 1	Até 15 meses
	Tipo 2	Até 20 meses
Período de amortização	Tipo 1	Até 72 meses
	Tipo 2	Até 108 meses
Duração máxima	Tipo 1	Até 87 meses
	Tipo 2	Até 128 meses
Taxa de juros nominal	Ambos	Até 9,0% ao ano (taxa nominal de 6% + spread de 3% e adicional de risco de crédito)
Amortização	Método de Amortização Francês (Sistema Price)	
Parcelas	Mensais	
Garantias	Alienação fiduciária da frota financiada ou percentual da receita futura da operadora	
Saldo devedor	Reajustado na mesma alíquota e periodicidade do FGTS	
Inadimplência	Valor monetário da obrigação, atualizado proporcionalmente, com correção pro rata na mesma taxa e periodicidade do FGTS, além de juros de mora de 0,033% ao dia	

Fonte: Autores

¹⁹ A CEF é o agente operacional da Refrota e um de seus agentes financeiros.

²⁰ PBT não superior a cinco toneladas.

²¹ PBT não superior a sete toneladas.

²² PBT não superior a 10 toneladas.

²³ PBT não superior a 16 toneladas. Mínimo de 70 passageiros, entre sentados e em pé.

²⁴ PBT não superior a 16 toneladas. Ônibus de piso baixo com capacidade mínima de 80 passageiros, entre sentados e em pé.

²⁵ PBT não superior a 26 toneladas. Ônibus de piso baixo com capacidade mínima de 100 passageiros, entre sentados e em pé.

²⁶ PBT não superior a 36 toneladas. Ônibus de piso baixo com capacidade mínima de 160 passageiros, entre sentados e em pé.

²⁷ Em situações excepcionais, os limites de referência relatados podem ser alterados.

Embora o programa ofereça taxas de juros abaixo do mercado, as condições para emissão de financiamentos garantidos são obstáculos para operadoras instáveis financeiramente. Conforme discutido na apresentação do setor de transportes, o transporte público tem perdido competitividade continuamente e isso tem impactado econômica e financeiramente os atores envolvidos.

Com base nas impressões dos *stakeholders*, há alta confiança de que o modelo de negócios normalmente adotado nos serviços de transporte por ônibus seja uma das causas. No atual modelo de negócios, a responsabilidade de investir em novos veículos e infraestrutura é da operadora. Além disso, sucessivas alterações contratuais ou descumprimentos por parte do governo ou das operadoras reduzem a segurança jurídica do serviço, aumentando o risco de inadimplência. Portanto, mesmo na situação em que os operadores buscam financiamento para renovar sua frota, os credores muitas vezes relutam em fornecer capital, mesmo quando os fundos estão disponíveis.

Outra questão reside na política de taxas de juros existente. No programa Refrota, o tipo de motor ou combustível utilizado não influencia no valor da taxa de juros. Os ônibus básicos são até quatro vezes mais baratos que os ônibus convencionais e cinco vezes mais baratos que os elétricos. Ao oferecer uma política de taxa de juros única, o programa incentiva a compra do primeiro tipo de ônibus, que não é adequado para o transporte de pessoas. Diante disso, propõe-se uma nova linha de financiamento para ônibus de baixa ou zero emissão a ser implementada no âmbito do Programa Refrota.

Tendo isto em conta, no instrumento proposto, as condições de financiamento, incluindo taxas de juros, variam consoante os seguintes tipos de viaturas:

- Tipo 1: ônibus padron, ônibus articulado e ônibus biarticulado com motores ciclo diesel, híbridos ou movidos a biocombustível.
- Tipo 2: ônibus padron, ônibus articulado e ônibus biarticulado com motores elétricos a bateria ou célula de combustível.

Os ônibus micro, mini, midi, e básicos foram removidos da lista de veículos designados. Embora mais baratos, esses veículos não oferecem condições adequadas para transporte e circulação de passageiros. Por exemplo, seus motores são colocados à frente da linha do eixo dianteiro, aumentando o nível de ruído e calor. As portas mais estreitas e o piso alto também são um desafio para subir a bordo, principalmente para idosos e pessoas com deficiência física. A proposta considera então o financiamento apenas de ônibus do tipo padron e articulado/biarticulado, visando melhorar a atratividade do sistema. A Figura 6 ilustra os ônibus básicos e padron em operação na cidade de São Paulo.

Ônibus básico



Ônibus padron

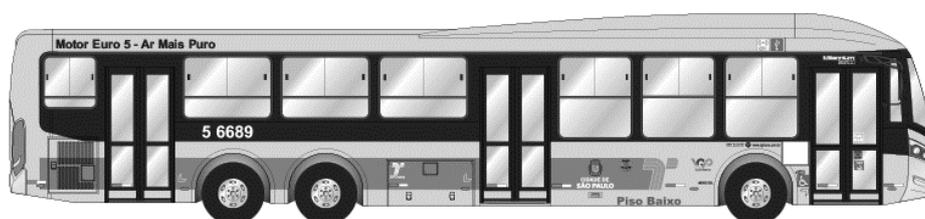


Figura 6. Ônibus tipo básico e padron em operação na cidade de São Paulo

Fonte: SPTrans (2022)

Apesar da retração econômica, algumas das principais cidades brasileiras aumentaram a participação de ônibus mais bem equipados e de alta capacidade (Figura 7). Em São Paulo e Curitiba, a participação dos ônibus padrão e articulados chegou a 47% e 55% da frota em 2020. Em Belo Horizonte, a participação desses tipos de ônibus aumentou de 14% para 16% entre 2015 e 2020. Por fim, Teresina e Fortaleza têm apresentado alta penetração de ônibus padrão e articulados/biarticulados, chegando a 35% e 14% do total em 2020, o que representa aumentos de 202% e 612% em relação a 2015. O instrumento proposto busca então auxiliar os municípios nesse fenômeno em andamento, acelerando a penetração no mercado.

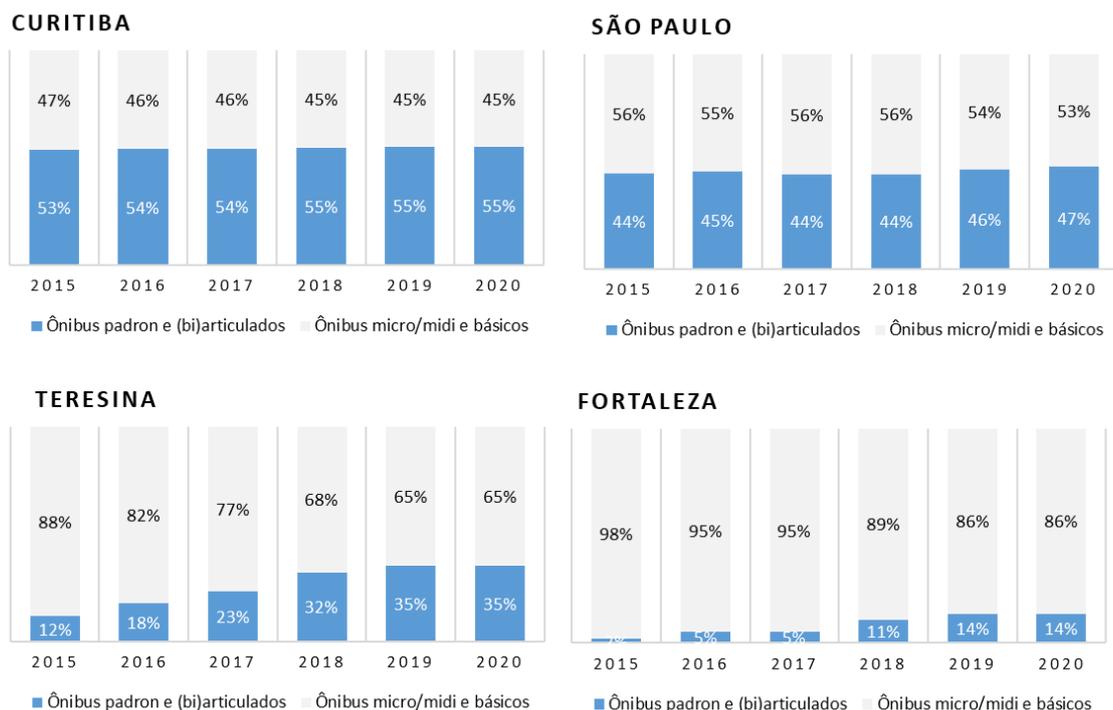


Figura 7. Participação de ônibus padrão e articulados/biarticulados em cidades brasileiras selecionadas
Fonte: Autores

Além disso, a proposta visa acelerar a transição energética na mobilidade urbana. Assim, as tecnologias de emissão zero (veículos do tipo 2) recebem melhores condições de financiamento. Os ônibus MCI e híbridos podem ser financiados com juros nominais de até 9% ao ano. Esta é a mesma condição oferecida atualmente pelo programa Refrota. No financiamento de ônibus elétrico a bateria ou a célula a combustível, a taxa de juros nominal é reduzida para 8% ao ano, com possibilidade de aumento do período de carência.

Em relação ao contrato de garantia, são propostos fundos de garantia e sociedades de propósito específico como alternativas, complementando as opções disponíveis na versão atual do programa Refrota. A criação ou modificação de um fundo de garantia como instrumento financeiro complementar para a cobertura do risco de crédito é uma opção sugerida a considerar, especialmente na circunstância de operadores severamente afetados pela crise do COVID-19. O capital poderia vir dos municípios ou do governo federal. No âmbito federal, o fundo garantidor poderia ter como base a Lei Federal nº 11.977/2009, que regulamenta o Fundo de Garantia Habitacional, administrado pela CEF, gestora de recursos do programa Refrota. Como opção, a lei²⁸ que rege o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) poderia ser modificada, acrescentando a prestação de garantias como opção para a aplicação dos recursos. Uma entidade de propósito específico, cujos parceiros podem ser operadoras de ônibus, concessionárias de energia, agentes financeiros ou demais investidores terceiros, seria outra opção para

²⁸ Lei Federal nº 12.114/2009.

adquirir ônibus. Com mais recursos, segurança jurídica e ganhos de escala, o risco de inadimplência é reduzido. Esse instrumento foi utilizado em cidades latino-americanas como Santiago e Bogotá (ANTP, 2022).

Mudar o atual modelo de negócios também pode reduzir o problema do risco de crédito. Essa pode ser uma prática a ser induzida pela nova linha de financiamento do programa Refrota. No modelo atual, as autarquias delegam todas as responsabilidades aos operadores, incluindo a aquisição e manutenção periódica dos ônibus, bem como a prestação do serviço. Conforme abordado anteriormente, algumas ineficiências administrativas ainda são enfrentadas por todas as operadoras. A fragilidade financeira dos operadores reduz então a vontade dos credores em lhes conceder empréstimos em condições mais favoráveis. Em diversos casos, a Caixa Econômica Federal não aprova o financiamento na forma integral ou parcial dos ativos. O problema poderia ser reduzido com modelos de negócios alternativos em que, por exemplo, a propriedade do veículo é transferida para o governo, município, fabricante ou outra entidade privada, deixando o operador unicamente responsável pela prestação do serviço.

Ademais, a contabilidade de carbono é um pré-requisito recentemente proposto pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para ser implementado no Brasil, também adotado em algumas operações por instituições como o Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Os mutuários devem relatar as emissões de carbono esperadas do projeto para acessar o crédito. Esse pré-requisito incentivaria as empresas a monitorar, relatar e verificar suas emissões, etapas essenciais para reduzir o impacto ambiental do transporte público. A Tabela 3 resume os mecanismos de financiamento descritos neste relatório.

Tabela 3. Elementos e detalhes da linha de financiamento proposta

Elemento	Descrição	
Tipo 1	Padron, ônibus articulados e biarticulados com motores ciclo diesel, híbridos ou movidos a biocombustível ²⁹	
Tipo 2	Padron, ônibus articulados e biarticulados com motores elétricos a bateria ou célula de combustível ³⁰	
Período de carência	Tipo 1	Até 15 meses
	Tipo 2	Até 24 meses
Período de amortização	Tipo 1	Até 72 meses
	Tipo 2	Até 104 meses
Duração máxima	Tipo 1	Até 87 meses
	Tipo 2	Até 128 meses
Taxa de juros nominal	Tipo 1	Até 9,0% ao ano (taxa nominal de 6% + spread de 3% e adicional de risco de crédito)
	Tipo 2	Até 8,0% ao ano (taxa nominal de 5% + spread de 3% e adicional de risco de crédito)
Amortização	Método de amortização francês (Price)	
Parcelas	Mensais	
Garantias	Igual ao mecanismo atual, mas adicionando fundos de garantia, entidades de propósito específico ou terceiros ³¹	
Saldo devedor	Reajustado na mesma alíquota e periodicidade do FGTS	

²⁹ Isso inclui biogás, etanol e HVO e outros biocombustíveis. Por exemplo, alguns motores do tipo Euro 6 para ônibus e caminhões são dimensionados para o teor de 100% de biodiesel (B100).

³⁰ Alimentado por hidrogênio verde.

³¹ No caso de mudança do atual modelo de negócio, por exemplo, transferência da propriedade dos ônibus para o governo ou terceiros.

Elemento	Descrição
Inadimplência	Igual ao mecanismo atual, mas o valor variará de acordo com as disposições encontradas no contrato de financiamento
Pré-requisito	Inventário de carbono é necessária para liberação de crédito

Fonte: Autores

As atividades que podem estar envolvidas no processo de ratificação do instrumento proposto são ilustradas na Figura 8. A necessidade de criar ou alterar a lei pode afetar o tempo de publicação do instrumento. Este seria o caso de um novo fundo de garantia. O fluxo de atividades não representa um procedimento obrigatório, mas uma indicação baseada em consultas aos atores envolvidos.

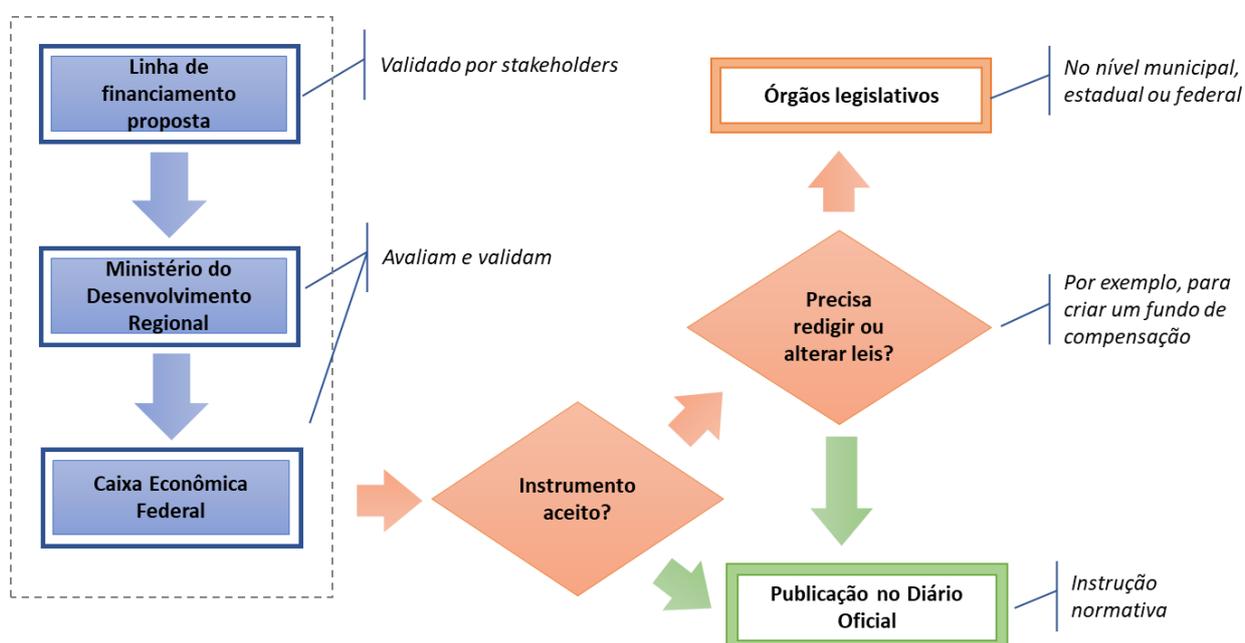


Figura 8. Atividades envolvidas no processo de publicação do instrumento II

Fonte: Autores

Em uma visão mais ampla, o instrumento proposto deve ajudar a superar barreiras relacionadas à mobilidade elétrica e ao transporte público urbano no Brasil. Mais especificamente, as seguintes barreiras seriam potencialmente afetadas: (i) falta de linhas de crédito específicas; (ii) alto custo de aquisição; (iii) priorização de transporte individual motorizado; (iv) presença maciça de ônibus básicos; (v) modelos de concessão mal projetados e adaptados a novas tecnologias; e (vi) incerteza legal nos contratos de concessão. O instrumento também pode ser diretamente afetado pela implementação da proposta anterior, "Novos itens para a Política Nacional de Mobilidade Urbana" (Apêndice A1.1). Ao destacar a importância de adotar ULEVs nas áreas metropolitanas, a política nacional de mobilidade urbana pode divulgar a questão. Isso pode acelerar a validação e implementação da nova linha de financiamento, bem como a criação ou modificação de fundos de garantia.

Além disso, o instrumento tem o potencial de aumentar a conscientização e promover oportunidades de investimento, como no caso da oportunidade de investimento 1, "Planejamento e compra de ônibus elétricos da

bateria" (ver Apêndice A2.2). Melhores condições de financiamento para a compra de emissões zero ou ônibus padron afetariam os investimentos das empresas ao substituir sua frota. Isso incentiva uma redução na parcela de ônibus básicos nas grandes cidades, além de reforçar o desenvolvimento do mercado local de veículos elétricos.

Apêndice 2 – Oportunidades de Investimentos

Esta seção destaca duas oportunidades de investimento no setor de transportes levantadas a partir dos instrumentos políticos e financeiros selecionados como prioritários.

A2.1. Oportunidade de Investimento I: Planejamento e Aquisição de Ônibus Elétricos a Bateria

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
1	Título da atividade de projeto	Planejamento e aquisição de ônibus elétricos a bateria em duas áreas urbanas.
2	Escala da atividade do projeto	Esta oportunidade de investimento é baseada na estrutura e critérios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As atividades envolvidas são classificadas como Tipo 2: atividades de projeto de melhoria da eficiência energética que reduzem o consumo de energia do lado da oferta e/ou demanda, com uma produção máxima de 60 GWh por ano.
3	Localização da atividade do projeto	Dois cidades ou regiões metropolitanas brasileiras com mais de 500.000 habitantes.
4	Tecnologia / serviço / outros	<p>Os veículos introduzidos são ônibus elétricos a bateria (mini, padron e articulado). A Tabela A2.1. descreve os tipos de veículos a serem considerados em futuras licitações e sua aplicação em sistemas de transporte por ônibus. A capacidade de passageiros sentados pode ser reduzida devido a adaptações para melhorar o conforto de pessoas com deficiência e acomodação de cadeiras de rodas ou cães de assistência.</p> <p>**Tabela A2.1. Tipos de veículos e aplicação</p> <p>Os ônibus elétricos para aquisição deverão ter a estrutura do chassi em aço de alta resistência e dispositivo de regulagem de altura. Adicionalmente, a licitante deverá considerar o atendimento à norma nacional ABNT NBR 15.570, que estabelece as especificações técnicas para a fabricação de veículos urbanos destinados ao transporte coletivo de passageiros. O piso dos veículos propostos para aquisição deve atender à norma nacional ABNT NBR 14.022, que especifica os requisitos de acessibilidade para pessoas com deficiência em ônibus e trólebus, para serviços urbanos e intermunicipais. Também deve ser considerada sua adequação às novas normas estabelecidas para este tipo de veículo, denominado “ônibus de piso baixo”. Assim, os ônibus devem ter piso rebaixado em todas as suas seções (frontal, central ou total), em relação ao plano formado entre os eixos das rodas com altura não superior a 35 mm, conforme Figura A2.1.</p> <p>**Figura A2.1. Ônibus de piso baixo Fonte. Brasil (2011) ABNT NBR 15.570.</p> <p>Por sua vez, a Tabela A2.2 apresenta os requisitos mínimos para motores elétricos e baterias a serem utilizados em ônibus padrão. Esses requisitos preliminares atendem às características operacionais dos sistemas de transporte por ônibus brasileiros e ao mercado nacional de ônibus elétricos.</p> <p>**Tabela A2.2. Requisitos mínimos para motores elétricos e baterias</p> <p>No mercado brasileiro de veículos elétricos, 5 ônibus elétricos estão disponíveis para compra e outros 21 estão em avaliação. A Figura A2.2 ilustra os principais ônibus padron que podem ser adquiridos localmente, e que hoje operam em pequena escala em cidades como Bauru, Brasília, Campinas, Maringá, Santos, São Paulo e Volta Redonda.</p> <p>**Figura A2.2. Principais ônibus elétricos que podem ser adquiridos no Brasil</p>

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
		<p>Assim, propõe-se modelos de negócios alternativos em que a propriedade do veículo é transferida para o governo, município, fabricante ou outra entidade privada, deixando o operador unicamente responsável pela prestação do serviço. No atual modelo de negócios (Figura A2.3), a responsabilidade de investir em novos veículos e infraestrutura é do operador. No entanto, o fator de risco decorrente da insolvência financeira das operadoras e da constante judicialização dos contratos reduz significativamente a oferta de crédito pelas instituições financeiras. Essa situação deixa pouco espaço para investimentos em tecnologias emergentes, que demandam um custo de aquisição mais elevado. A literatura e consultas prévias aos principais <i>stakeholders</i> indicam que a elaboração dos contratos de concessão pelos municípios é uma lacuna crítica no Brasil, principalmente quando envolve ônibus elétricos, integração modal e medidas prioritárias. Além disso, este projeto, preferencialmente com o apoio de um ministério como parte interessada voluntária, pode ser uma referência para outras cidades que pretendem transformar sua mobilidade urbana.</p> <p>**Figura A2.3. Modelo de negócio amplamente adotado nas cidades brasileiras</p> <p>Para contornar tais entraves, propõe-se uma valorização mais ampla do transporte público a partir de uma revisão dos contratos existentes. A proposta busca proporcionar um melhor equilíbrio entre demanda, oferta e qualidade de serviço, com equidade tarifária e foco no atendimento ao cliente. Este processo contempla ainda cláusulas contratuais específicas para a mobilidade elétrica devido às atribuições inerentes aos ônibus elétricos, desde a infraestrutura de recarga à vida útil do ativo.</p> <p>Nesse sentido, a Figura A2.4 ilustra um modelo alternativo, dentre vários outros, a ser considerado. O município/governo assume então a responsabilidade de adquirir a frota de ônibus e a infraestrutura de recarga (mediada por edital específico), emprestando-os às operadoras. Por sua vez, os operadores são remunerados pela prestação do serviço concessionado e pagam a renda pela utilização do ônibus elétrico e da infraestrutura de recarga. Em outro aspecto, a operadora ou município poderia alugar o ônibus do fabricante em vez de comprá-lo.</p> <p>**Figura A2.4. Possível alternativa de modelo de negócios a ser adotado nas cidades brasileiras</p> <p>Medidas adicionais aos veículos elétricos movidos a bateria envolvem mudanças nas rotas de ônibus, integração física e tarifária e implantação de corredores prioritários para ônibus para aumentar a atratividade dos serviços de transporte público.</p>
5	Setor econômico	Transporte (Escopo setorial: 07 Transportes).
6	Redução média anual de emissões de GEE (t CO ₂ e)	A média anual de emissões evitadas de GEE chegaria a 2,1 Kt CO ₂ e/ano (ver tabela A2.3).
7	Data	<p>O início do projeto ocorre a partir da contratação de serviço de consultoria pelo investidor interessado na pesquisa/planejamento, financiamento, teste e licitação de ônibus elétricos nas duas cidades selecionadas. Após a contratação do estudo, a duração prevista do projeto é de 24 meses. O prazo se refere à fase de viabilidade, financiamento do projeto e ao início da operação.</p> <p>Com base nos prazos de licitações locais similares e na experiência da equipe técnica, em 12 meses, é possível desenvolver e validar o estudo de viabilidade com as partes interessadas, bem como conduzir o processo de aquisição. Ainda assim, o alinhamento prévio entre o investidor e o governo local/prefeitura é fundamental para cumprir todos os prazos dos produtos. Nesse momento, o Ministério do Desenvolvimento Regional tem desempenhado um papel importante ao trabalhar em conjunto com os municípios, ajudando a validar os produtos e engajar as partes interessadas. O segundo ano se restringe à realização do experimento-piloto com um ou dois veículos³², bem como à análise, validação (com <i>stakeholders</i>) e disseminação do conhecimento.</p>

³² Dado que o cronograma de entrega de 20 ônibus pode ser maior que o prazo do projeto.

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
		A Tabela 4 apresenta uma proposta de cronograma do projeto para orientar as instituições envolvidas. **Tabela 4. Cronograma de atividades proposto
8	Informações de Contato	Primeiro representante: George Goes, pesquisador da Coppe (Universidade Federal do Rio de Janeiro). Informações para contato: ggoes@pet.coppe.ufrj.br / +55 21 97474-5215. Segundo representante: Daniel Schmitz, pesquisador da Coppe (Universidade Federal do Rio de Janeiro). Informações para contato: danielnsg@pet.coppe.ufrj.br / +55 21 96901-7556. Terceiro representante: Fernando Araldi, Ministério do Desenvolvimento Regional (Brasil) Informações para contato: fernando.araldi@mdr.gov.br / +55 61 2108-1188.

Tabela 4. Tipos de veículos e aplicação

Tipo de veículo	Descrição	Aplicação
Mini	Veículo automotor de transporte público com capacidade para até vinte passageiros	A ser operado em linhas de alimentadoras ou convencionais
Padron	Veículo automotor de transporte público com capacidade para até oitenta passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	A ser operado em sistemas tronco-alimentadores (com maior demanda)
Articulado	Veículo automotor de transporte público com capacidade para até cem passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia	A ser operado em sistemas tronco-alimentadores (com maior demanda)

Fonte: Autores

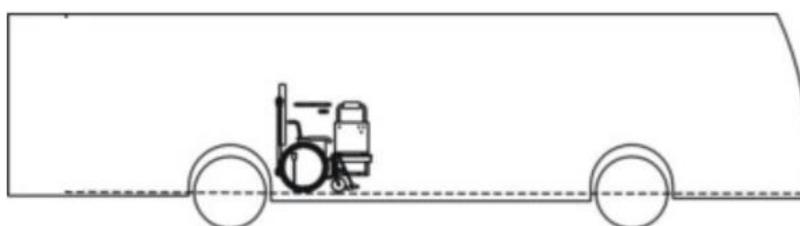


Figura 9. Ônibus de piso baixo

Fonte. Brasil (2011) ABNT NBR 15.570.

Tabela 5. Requisitos mínimos para motores elétricos e baterias

Tipo de veículo	Requisitos	Valores de referência
Mini	Potência mínima	Pico de 180kW/200HP, que pode ser alimentado por até dois motores
	Capacidade mínima da bateria	150 kWh
	Tempo máximo para carga total ¹	2 horas
	Faixa mínima ^{2, 3}	200 km
	Vida	20 anos (veículo); 10 anos (bateria)
Padron	Potência mínima	Pico de 220kW/300HP, que pode ser alimentado por até dois motores
	Capacidade mínima da bateria	300 kWh
	Tempo máximo para cobrança total	4 horas
	Faixa mínima	220 km
	Vida	20 anos (veículo); 10 anos (bateria)
Articulado	Potência mínima	Pico de 440kW/600HP, que pode ser alimentado por até quatro motores
	Capacidade mínima da bateria	500 kWh
	Tempo máximo para cobrança total	5 horas
	Faixa mínima	220 km
	Vida	20 anos (veículo); 10 anos (bateria)

¹ Adotando o padrão europeu de plugue de recarga, com potência mínima de carregamento de 2x40 kW AC ou 2x100kW DC.

² Considerando o Ciclo de Condução Brasileiro (relatado no estudo ECarbono do Ministério do Desenvolvimento Regional).

³ Considerando o retorno à garagem com 20% da carga (estado de carga) e o uso de ar-condicionado.

Fonte: Autores



Fonte: Pesquisa de mercado realizada pelos autores

Figura 10. Principais ônibus elétricos que podem ser adquiridos no Brasil

Modelo convencional

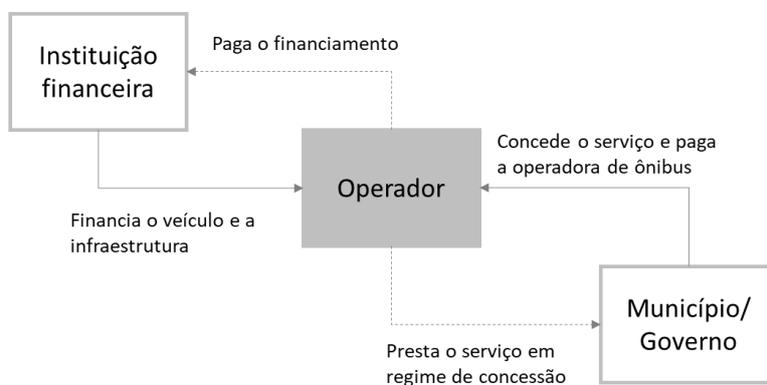


Figura 11. Modelo de negócio amplamente adotado nas cidades brasileiras

Fonte: Autores

Exemplo de modelo alternativo

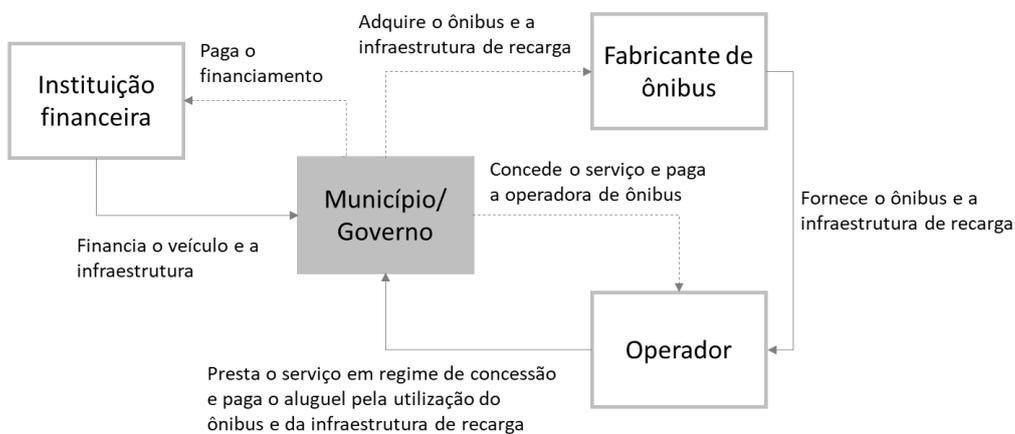


Figura 12. Possível alternativa de modelo de negócio a ser adotado nas cidades brasileiras

Fonte: Autores

Tabela 6. Cenário alternativo (aplicação em duas cidades e versão escalável)

Dados		Resultados
Geral	Pré-seleção: população das 42 cidades (2020)	42.685.422
	População nacional (2020)	211.755.692
	Parcela da população nacional	20%
Energia	Preço médio ponderado do diesel	5,44 BRL/l
	Preço médio ponderado da eletricidade	0,66 BRL/kWh
Atividade	frota nacional de ônibus urbanos	275.000,00
	Frota de ônibus elétrico urbano esperada nas cidades selecionadas em 2030	20
Resultados	Mitigação anual a partir de 2030	2,1 kt CO ₂ e
	Mitigação anual a partir de 2030 (versão escalável do projeto em 42 cidades)	1,7 Mt CO ₂ e
	Valor do projeto proposto	5.290.900,00 USD
	Custo por tonelada de carbono	-156,92 USD/t CO ₂ e
	CAPEX (20 ônibus convencionais a diesel)	USD 2.805.110,00
	CAPEX (20 ônibus elétricos a bateria)	USD 4.910.900,00 (+ 100.000,00 com infraestrutura de recarga)
	OPEX (ônibus diesel convencionais)	0,49 USD/km
	OPEX (ônibus elétricos a bateria)	0,12 USD/km
	Diferença	-76%

Fonte: Autores

Tabela 7. Cronograma de atividades propostas

Entregável	Alocação	Aprovação	Prazo final
Estudo de viabilidade (modelo de negócios, modelo de compras, modelo financeiro, segurança jurídica)	Empresa de consultoria (executora)	• Governo local	Até 60 dias
		• Contratante (investidor interessado)	(Após o início do projeto)
Consulta com <i>stakeholders</i> e especialistas		-	Até 90 dias
Compras	• Proprietário do veículo (governo local ou operadoras ou fabricantes de ônibus)	• Governo local	Até 180 dias
	• Operadores de ônibus	• Contratante	
Obras de infraestrutura e adequações operacionais	Empresa de consultoria	-	Até 360 dias
Relatório do experimento piloto	• Proprietário do veículo	-	Até 660 dias
	• Operadores de ônibus	-	
Workshop com <i>stakeholders</i>		-	Até 690 dias
Relatório final	Empresa de consultoria	• Governo local	Até 720 dias
		• Contratante	

Fonte: Autores

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DO PROJETO	
1	<p>Descrição do Projeto</p> <p>O uso de ônibus elétricos no Brasil ainda é ínfimo. A frota de ônibus elétricos a bateria gira atualmente em torno de 80 veículos e a maioria dos ônibus que operam nas cidades são “básicos”, cuja proposta atual busca reduzir significativamente nas cidades na próxima década. Apesar dos avanços no desenvolvimento de normas e regulamentos e na concessão de crédito, os tomadores de decisão ainda enfrentam dificuldades na formulação de contratos públicos envolvendo ônibus elétricos movidos a bateria, seu modelo de negócio, integração modal, infraestrutura prioritária e requisitos operacionais. Esta é a lacuna que a presente ação de mitigação pretende superar.</p> <p>O projeto proposto terá como foco o aumento da atratividade e competitividade dos serviços de transporte por ônibus municipais e metropolitanos por meio da melhoria do nível de serviço. Um elemento-chave da ação de mitigação é a introdução de ônibus elétricos movidos a bateria (mini, padron e articulado) para transporte público em condições de tráfego comparáveis e em terrenos semelhantes ao cenário de linha de base. A melhoria não se restringe à tecnologia veicular, mas a mudanças nas rotas de ônibus, integração (física e/ou tarifária) e implantação de corredores prioritários para ônibus que não fazem parte do sistema Bus Rapid Transit (BRT). O tipo de ação de mitigação de emissões de GEE se baseia na substituição de tecnologia (troca de veículos mais intensivos em GEE) e na redução do consumo de combustível fóssil. A área geográfica compreende dois municípios ou regiões metropolitanas com mais de 500 mil habitantes interessados em melhorar a operação dos ônibus utilizados no transporte público no Brasil.</p> <p>O projeto será dividido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipe técnica: responsável pelo planejamento e seleção e aplicação de compras em duas cidades/regiões metropolitanas. As atividades envolvidas irão abranger aspectos como estruturas de garagens e esquemas de recarga de baterias, compra e manutenção de diferentes tecnologias e infraestrutura prioritária de ônibus de acordo com diferentes modelos de negócios que podem ser adotados localmente. • Equipe Jurídica: responsável por avaliar a viabilidade jurídica do projeto e minimizar possíveis causas de insegurança. • Equipe econômica: responsável pelo desenvolvimento dos modelos tarifários, outras receitas e ganhos e esquemas de financiamento para compra e manutenção de tecnologias de acordo com o tipo de modelo de negócio que pode ser adotado localmente de forma a remunerar o investidor. <p>Dependendo do sucesso e divulgação dos resultados, o projeto poderá ser escalável para outras cidades similares ou serviços de transporte rodoviário intermunicipal (ver item V.2).</p>
2	<p>Informações-chave da tecnologia</p> <p>Ver tabelas A1 e 2A.</p>
3	<p>Descrição técnica da medida de mitigação</p> <p>As Tabelas A1 e A2 listam as instalações, sistemas e equipamentos que serão instalados e/ou modificados pelas atividades do projeto. Todas as tecnologias já estão disponíveis no mercado brasileiro, sendo tecnicamente viáveis no Brasil como demonstrado por Grottera <i>et al.</i> (2022), Goes <i>et al.</i> (2020), La Rovere <i>et al.</i> (2019), Ministério das Minas e Energia (EPE), bem como experiências em cidades como Bauru, Brasília, Campinas, Maringá, Santos, São Paulo e Volta Redonda. Os tipos e níveis de serviços serão definidos de acordo com o potencial de cada município. Esses municípios têm uma frota de aproximadamente 80 ônibus elétricos. No entanto, nenhum ajuste contratual foi feito usando o modelo convencional. Em alguns casos, o município adquiriu o ônibus elétrico e o colocou em operação na tarifa zero (cobrindo todos os custos e despesas).</p> <p>Além disso, atualmente, praticamente todos os ônibus são impulsionados por diesel, além de caminhões, trens de carga, navegação interior e embarcações de suporte <i>offshore</i>. No entanto, diferentemente da gasolina, que possui etanol hidratado e gás natural comprimido como alternativa para sua substituição, o diesel mineral ainda não tem um combustível substituto imediato, com uma perspectiva legal de aumentar a mistura de biodiesel (em volume) em até 15% (B15) nos próximos anos (Brasil, 2021). Ainda assim, é prudente adaptar as misturas de biodiesel para atender à nova fase do Programa de Controle</p>

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DO PROJETO	
	<p>de Poluição do Ar do Veículo Motorista (Proconve P8), que é equivalente ao Euro 6, pois estudos europeus indicam que os motores atuais não estão preparados para receber misturas com teor de éster acima de 7% (EPE, 2020).</p> <p>Outra questão importante da perda contínua de passageiros para outros modos de transporte. Embora a proporção da população urbana no país tenha aumentado de 78% para 86% entre 1996 e 2016, o número anual de passageiros transportados pelo transporte público urbano por ônibus declinou (CNT, 2018; Knoema, 2020). Em 1996, 460,9 milhões de passageiros foram transportados por ônibus urbanos no país. Em 2016, esse número caiu para 323,6 milhões, uma redução de aproximadamente 30% (NTU, 2018). Isso pode estar associado, entre outras razões, a um histórico de políticas públicas destinadas ao uso individual de transporte de passageiros motorizado no país. Por exemplo, em duas ocasiões entre 2008 e 2012, o governo brasileiro aprovou a redução do imposto sobre produtos industrializados (IPI) em veículos automotores, aumentando substancialmente sua comercialização (Anprtilhos, 2018).</p> <p>Essa redução contínua no número de usuários afeta diretamente a receita da tarifa para serviços de transporte de ônibus públicos no Brasil, levando a novos aumentos de tarifas. Entre 1996 e 2016, a tarifa média aumentou 848%, mais que o dobro do índice de inflação para o período (387%) (NTU, 2018). Esse ajuste tarifário pode ser explicado pelo modelo de concessão predominante nas cidades brasileiras, no qual o custo do sistema é coberto pela receita tarifária. Portanto, os impactos negativos na demanda tendem a ser convertidos em aumentos tarifários. Isso, juntamente com uma frota de ônibus que não atende aos padrões internacionais de conforto, reduz ainda mais a atratividade desse serviço, incentivando a migração para outros meios, em particular, transporte individual motorizado. Novos serviços promovidos por tecnologias emergentes, como aplicativos de carona, são oferecidos como opções de baixo custo para os usuários, competindo com modos de transporte coletivos, como sistemas de metrô ou ônibus, principalmente em viagens de curta distância. Portanto, o transporte de ônibus público também tinha parte de sua demanda capturada por esses tipos de serviços. Como os custos operacionais não são otimizados, essa redução na demanda de passageiros leva a um aumento nas tarifas, intensificando ainda mais a evasão de passageiros. A crise causada pela pandemia COVID-19 impactou a demanda e a oferta de transporte de ônibus públicos, agravando o círculo vicioso já mencionado.</p> <p>A mitigação esperada é de 2,1 kt CO₂e/ano; no entanto, indiretamente, essa mitigação pode atingir 1,7 Mt CO₂e, pois esta proposta tem o potencial de influenciar 42 municípios com mais de 500.000 habitantes que atualmente não são cobertos por projetos de ônibus elétricos (aproximadamente 20% da população nacional). No cenário escalável, 33% da frota de ônibus das 42 cidades seria eletrificada até 2030. Essa análise considera apenas a substituição da tecnologia fóssil convencional por ônibus elétricos, desconsiderando outros cobenefícios como aumento da demanda de transporte público devido à redução da intensidade do uso de carros. Esses resultados foram estimados usando a ferramenta oficial adotada pelo governo brasileiro (disponível em: http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/simulador_onibus/onibusv3/).</p>
4	<p>Participantes do projeto</p> <p>Partes envolvidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brasil (parte anfitriã) <p>Participantes do projeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empresa privada de consultoria (executora). • Contratante interessada (instituição pública ou privada). • Ministério do Desenvolvimento Regional (não obrigatório). Uma parte interessada voluntária que pode contribuir com o projeto durante sua implementação.
5	<p>Potencial de redução de emissões de GEE</p> <p>A média anual de emissões evitadas de GEE chegaria a 1,7 Mt CO₂e/ano a partir de 2030 (considerando uma versão escalável do projeto em 42 cidades – ver seção V.2).</p>

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DO PROJETO		
6	Mercado-alvo e potencial	Ganhos de eficiência energética, redução da concentração de poluentes atmosféricos, benefícios na saúde da população (internações por morbidade e redução do ruído), valorização do uso do solo, bem como publicidade são elementos-chave de decisão no financiamento desta proposta.

III. FINANCIAMENTO DO PROJETO		
1	Principais detalhes do financiamento do projeto	<p>Investimento total (USD): 5.290.900,00</p> <p>***que inclui:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contratação de instituição executora (e custos relacionados ao desenvolvimento do estudo e aplicação em duas cidades): 2% • Custo de compra de pelo menos 10 ônibus elétricos por cidade, 20 no total (considerando o custo médio de um ônibus de 12 metros disponível no mercado local): 96% • Outros (consultores externos, eventos de consulta a <i>stakeholders</i>, divulgação de resultados etc.): 2% <p>Duração do projeto: 2 anos (referente à fase de viabilidade, financiamento do projeto e início da operação)</p> <p>Moeda de financiamento: USD (taxa de câmbio de 12 de agosto de 2022)</p> <p>Além disso, esta proposta tem potencial para influenciar indiretamente 42 municípios (ver item V.2) em futuras compras de ônibus elétricos e fornecer subsídios técnicos aos órgãos em seus processos de contratação. Se ampliado, o OPEX dos veículos nessas 42 cidades cairia dos atuais US\$ 0,49/km para US\$ 0,12/km (economia de 76%). Esses resultados foram estimados usando a ferramenta oficial adotada pelo governo brasileiro (disponível em: http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/simulador_onibus/Onibusv3/).</p>
2	Fontes de financiamento	A atividade de projeto será financiada por entidades públicas e privadas interessadas. Nenhum financiamento público como parte do financiamento do projeto das partes incluídas no Anexo I da UNFCCC está envolvido na atividade do projeto.
3	Créditos de carbono	Não se espera que o projeto seja cofinanciado por meio de padrões de crédito de carbono.
4	Custo por tonelada de carbono (\$/t CO ₂ e)	Ver tabela A2.3. O custo chega a -156,92 USD/t CO ₂ e
5	Risco de financiamento	<ul style="list-style-type: none"> • Insegurança jurídica em vários contratos de concessão existentes (rompimentos unilaterais, atrasos nos reajustes tarifários, contratos de concessão mal elaborados etc.).
6	Modelagem financeira	<p>Este projeto ainda não possui um modelo financeiro. Esta é uma nota conceitual inicial. Embora não seja possível estimar o ROI nesta fase devido à falta de definição da cidade, da demanda esperada e de todos os custos e despesas envolvidos, o valor esperado de projetos similares de concessão no Brasil costuma ficar entre 8% e 12%. CAPEX e OPEX são detalhados na Tabela 3.</p> <p>Embora o TCO dos ônibus elétricos mostre a viabilidade dessa tecnologia, algumas empresas precisarão de capital para a aquisição. Portanto, o capital envolvido nesse processo pode vir de fontes locais (BRDE, BDMG, BNDES etc.) e internacionais (BID, GEF, GCF, GTF etc.). Por exemplo, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) promove o financiamento de projetos sustentáveis em países da América Latina e do Caribe por meio de fundos verdes internacionais, como o GCF e o GEF.</p> <p>Internamente, os credores poderiam implementar mecanismos baseados nas melhores práticas internacionais como o Pay as You Save (PAYS), o Cleaner Transport Facility (CTF) e o Zero Emission Urban Bus System (ZeEUS). Cada mecanismo de financiamento busca alavancar investimentos em transporte sustentável, com algumas diferenças.</p> <p>O PAYS representa uma operação de financiamento estruturada em que a concessionária de energia ou o município investe em baterias e estações de recarga, recuperando custos ao cobrar</p>

III. FINANCIAMENTO DO PROJETO		
		do operador do serviço de ônibus pelo uso dos ativos. O CTF se concentra em modelos de custeio do ciclo de vida, que envolvem instrumentos de compartilhamento de riscos ao mesmo tempo em que alavancam fundos do setor privado, em vez de modelos tradicionais que exigem maior investimento de capital. Por último, a ZeEUS obtém fundos do Banco Europeu de Investimento (BEI) através do Cleaner Transport Facility (CTF). O BEI concede financiamento a longo prazo em parceria com o setor privado, enquanto apoia investimentos fora da UE. Os modelos de financiamento são diferentes para cada país membro.
7	Modelo de aquisição	<i>Business-to-business</i> (B2B) ou parceria público-privada (PPP).
9	Fase do projeto	Desenvolvimento de conceito.
10	Suporte e assistência técnica	O Ministério do Desenvolvimento Regional foi consultado para confirmar a importância dessa proposta, uma vez que as tecnologias emergentes em mobilidade urbana representam uma lacuna crítica no Brasil, principalmente quando relacionadas aos ônibus elétricos, e atestou a falta de projetos semelhantes relevantes em andamento ou previstos. Além disso, o ministério forneceu uma estimativa dos custos de investimento projetados com base em seu acervo de iniciativas semelhantes. Nenhum outro suporte de assistência técnica será necessário.

IV. BARREIRAS E RISCOS DO PROJETO		
1	Barreiras e riscos do projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas ainda focadas no transporte individual motorizado. • Falta de estudos técnicos, econômicos e ambientais assertivos. • Insegurança jurídica nos atuais contratos de concessão. • Modelos de concessão mal desenhados e não adaptados às novas tecnologias. • Alta fragilidade financeira dos prestadores de serviços de ônibus. • Falta de linhas de crédito específicas para tecnologias alternativas. • Presença maciça de ônibus básicos (veículos com chassis e carrocerias não adequados ao transporte de passageiros).
2	Condições viabilizadoras	<ul style="list-style-type: none"> • Definir metas de emissão zero e um plano de mobilidade urbana integrada de baixa emissão no município selecionado (ou área metropolitana) nos próximos anos seria uma boa prática. • Disposição do governo local (prefeitura) de revisar contratos atuais e futuros, especialmente em relação à propriedade de veículos. • O Brasil já possui fontes importantes de financiamento, como o Programa Refrota (Caixa Econômica Federal) e o Finame (BNDES), mas são necessárias linhas de crédito específicas para VEs³³. • Os municípios devem proibir ou limitar o uso de ônibus básicos convencionais. • Algumas cidades já estão priorizando o transporte público (faixas exclusivas, subsídios etc.), mas são necessários esforços para integrar modos de transporte e tecnologias alternativas.
3	Desenvolvimento de políticas	<ul style="list-style-type: none"> • Fim dos incentivos à mobilidade motorizada individual (redução de impostos sobre os combustíveis fósseis, redução de impostos sobre a produção automóvel etc.). • Campanhas de educação e conscientização com formuladores de políticas públicas, planejadores urbanos e usuários atuais e potenciais. • Metas de emissão zero e um plano integrado de mobilidade urbana de baixa emissão no município/área metropolitana selecionada.

³³ Dois bancos brasileiros, a CEF (por meio do Programa Refrota) e o BNDES (por meio da linha de crédito FINAME), são os principais credores que as operadoras de ônibus consideram na renovação de sua frota. No entanto, as tarifas oferecidas no programa Refrota são as mesmas para ônibus elétricos e convencionais.

V. INFORMAÇÕES ADICIONAIS E DOCUMENTAÇÃO		
1	Benefícios e riscos sociais, econômicos e ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto positivo na taxa de motorização. • Redução do congestionamento em centros urbanos. • Maior acessibilidade da população. • Redução das emissões de poluentes do ar. • Redução das despesas de saúde pública. • Redução do ruído dos MCIs. • Segurança energética aprimorada. • Segurança jurídica aprimorada. • Equidade tarifária. • Fortalecimento da indústria doméstica como um exportador de veículos e componentes na América do Sul. • As baterias EV de segunda vida podem ser usadas para equilibrar a rede de energia elétrica
2	Potencial transformacional	O projeto pode ser escalável para o serviço de transporte de ônibus interestadual ou internacional. Nesse caso, pode ser necessária uma alteração contratual ou a contratação de um estudo específico sobre o assunto. Além disso, a proposta atual pode ser escalável para 42 cidades e regiões metropolitanas brasileiras (todas com mais de 500 mil habitantes e sem projetos de ônibus elétricos).
3	Aprovações/permissões regulatórias	As atividades deste projeto não necessitam de autorização especial para serem realizadas. No entanto, recomenda-se que um ministério faça a intermediação da assinatura do contrato entre a instituição financiadora e a empresa contratada para desenvolver o estudo, engajando <i>stakeholders</i> e divulgando os resultados.
4	Consulta pública	Espera-se que entrevistas semiestruturadas e/ou um workshop com os principais <i>stakeholders</i> em mobilidade urbana e serviços de transporte por ônibus (planejadores urbanos, operadores, fabricantes, governo, usuários em potencial etc.) validem e refinem os resultados.
5	Documentação chave e documentos de apoio	Não aplicável.

A2.2. Oportunidade de Investimento II: Plano de Ação em Transporte de Carga Sustentável

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
1	Título da atividade de projeto	Plano de Ação de Carga Sustentável com experimento piloto em área urbana.
2	Escala da atividade do projeto	Esta oportunidade de investimento é baseada na estrutura e critérios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As atividades envolvidas são classificadas como Tipo 2: atividades de projeto de melhoria da eficiência energética que reduzem o consumo de energia do lado da oferta e/ou demanda, com uma produção máxima de 60 GWh por ano.
3	Localização da atividade do projeto	Cidade ou região metropolitana brasileira com mais de 500 mil habitantes.
4	Tecnologia / serviço / outros	<p>O Plano de Ação avaliará o sistema de transporte de carga de um município ou região metropolitana, visando promover uma mobilidade sustentável e eficiente. Além disso, abrange a aquisição e utilização de tecnologias de baixo carbono ou emissão zero e/ou o redesenho da logística urbana na área urbana selecionada (incluindo a possibilidade de criação de hubs logísticos urbanos e depósitos móveis). As tecnologias atualmente disponíveis localmente são mostradas na Tabela A2.5 e ilustradas na Figura A2.5. Em resumo, as tecnologias disponíveis são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 9 modelos de caminhões movidos a bateria (de cinco fabricantes). • 4 modelos comerciais leves elétricos a bateria. • 4 modelos de motocicletas/triciclos elétricos a bateria. • 1 modelo de caminhão movido a GNV/Biometano. <p>As intervenções levarão em consideração a distribuição espacial da atividade de carga e os modelos de negócios atualmente adotados nas regiões metropolitanas. Assim, o Plano de Ação contemplará medidas como infraestrutura prioritária para caminhões elétricos (estacionamento exclusivo e zonas de carga/descarga em áreas centrais etc.), uso de faixas exclusivas, depósitos móveis e hubs de consolidação/desconsolidação de cargas urbanas.</p>
5	Setor econômico	Transporte (Escopo setorial: 07 Transporte).
6	Redução média anual de emissões de GEE (t CO ₂ e)	A emissão evitada dependerá da cidade escolhida, pois pode envolver intervenções na infraestrutura local, além da compra de caminhões e bicicletas elétricas por empresas interessadas. Ainda assim, foi estimado o impacto da implantação desse plano nas 49 cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes, considerando apenas a eletrificação da frota urbana de caminhões. Essa atividade resultou em uma média anual evitada de emissões de GEE de 1,9 Mt CO ₂ e/ano entre 2030 e 2040.
7	Data	O início do projeto ocorre a partir da contratação de serviço de consultoria pelo investidor interessado. A duração prevista do projeto é de 24 meses.
8	Informações de Contato	<p>Primeiro representante: George Goes, pesquisador da Coppe (Universidade Federal do Rio de Janeiro). Informações para contato: ggoes@pet.coppe.ufrj.br / +55 21 97474-5215.</p> <p>Segundo representante: Daniel Schmitz, pesquisador da Coppe (Universidade Federal do Rio de Janeiro). Informações para contato: danielnsg@pet.coppe.ufrj.br / +55 21 96901-7556.</p> <p>Terceiro representante: Fernando Araldi, Ministério do Desenvolvimento Regional (Brasil) Informações para contato: fernando.araldi@mdr.gov.br / +55 61 2108-1188.</p>

Tabela 8. Fabricantes e modelos disponíveis localmente

Tipo de veículo	Disponibilidade local
Caminhões elétricos a bateria	BYD (eT7 12.210 e eT18 21.250), JAC (iEV1200T e iEV 350T), FNM (FNM 832 e FNM 833), VW (e-Delivery 11 e e-Delivery 14), Eletra (retrofit)
Caminhões movidos a GNV/Biometano	Scania
Comerciais leves elétricos a bateria	BYD (eT3), JAC (iEV750V), Renault (Kangoo Z.E. MAXI), Eletra (retrofit)
Motocicletas/triciclos elétricos a bateria	Electromovi (mini triciclo de carga, quadriciclo de carga, triciclo de carga basculante), Voltz (EVS Work)



eT7 12.210 (BYD)



eT18 21.250 (BYD)



eT3 (BYD)



iEV1200T (JAC)



iEV750V (JAC)



iEV 350T (JAC)



832 (FNM)



e-Delivery 11 (MAN)



KANGOO Z.E. MAXI (Renault)



Triciclo de carga (Elemovi)



Triciclo de carga (Elemovi)



Quadriciclo de carga (Elemovi)



R 410 (Scania)



EVS Work (Voltz)

Figura 13. Exemplos de modelos alternativos de veículos atualmente disponíveis no Brasil

Fonte: Pesquisa de mercado realizada pelos autores

Tabela 9. Cronograma de atividades proposto

Entregável	Alocação	Aprovação	Prazo final
Estudo de viabilidade (modelo de negócio, modelo de compras, modelo financeiro, segurança jurídica)	Empresa de consultoria	<ul style="list-style-type: none"> • Governo local • Contratante 	Até 60 dias
Consulta com <i>stakeholders</i> e especialistas		-	Até 90 dias
Plano de Ação de Carga Sustentável (<i>draft</i>)		<ul style="list-style-type: none"> • Governo local • Contratante 	Até 120 dias
Aquisição (veículos elétricos, garagens etc.)	Empresas de transporte interessadas	<ul style="list-style-type: none"> • Contratante 	Até 180 dias
Obras de infraestrutura e adequações operacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa de consultoria 		Até 420 dias
Relatório do experimento piloto	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas de transporte interessadas 		Até 660 dias
Workshop com <i>stakeholders</i>	Empresa de consultoria	-	Até 690 dias
Relatório sobre os desafios da logística urbana na área selecionada		<ul style="list-style-type: none"> • Governo local • Contratante 	Até 720 dias
Relatório sobre a mobilidade elétrica no transporte de carga na área selecionada			
Plano de Ação de Carga Sustentável (final)			

Fonte: Autores

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DO PROJETO

1	<p>Descrição do Projeto</p> <p>O governo brasileiro, especialmente o Ministério do Desenvolvimento Regional, recebe regularmente solicitações de municípios para auxiliar no desenvolvimento e implementação de planos de mobilidade de carga em seus territórios (conforme exigido pela lei nº 12.587/2012, que estabelece as definições e diretrizes da Política Nacional Política de Mobilidade Urbana). Ao contrário da mobilidade urbana de passageiros, nenhum plano de ação de carga ou estudos relacionados aos desafios da logística urbana estão disponíveis pelo governo para apoiar os municípios ou áreas metropolitanas, geralmente administrando seus territórios com orçamentos limitados. Parte disso se deve à falta de dados locais sobre a mobilidade de carga, haja vista que as pesquisas origem-destino realizadas nos municípios brasileiros geralmente não coletam dados sobre esse tipo de atividade. Por exemplo, o programa ministerial Eficiência Energética na Mobilidade Urbana (EEMU) (Brasil, 2018), que visa medir a eficiência energética na mobilidade urbana, ainda não avaliou o transporte de carga nos municípios brasileiros devido à falta de dados locais. Além disso, a falta de conhecimento e preocupação dos formuladores de políticas sobre externalidades positivas ao planejar a mobilidade urbana de carga reduz o número de estudos e casos locais.</p> <p>O projeto envolve o desenvolvimento de um Plano de Ação de Carga para promover a mobilidade sustentável e eficiente de carga em um município selecionado ou em uma área metropolitana. Um objetivo secundário é incentivar outros municípios a realizarem planos de ação semelhantes e experimentos-piloto, contribuindo para a transição energética e melhorando a eficiência da mobilidade de carga.</p> <p>Entregáveis/produtos esperados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desafios da logística urbana – como a cidade pode se tornar um polo logístico da região (princípios, estratégias de atração de empresas, infraestrutura necessária, papel do poder público etc.). ▪ Mobilidade elétrica no transporte urbano de carga (visão geral, benefícios, barreiras, facilitadores, implementação e estratégias prioritárias etc.).
---	---

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE DO PROJETO		
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plano de Ação de Carga Sustentável (demanda projetada, intervenções e tecnologias necessárias, financiamento, políticas prioritárias, novos modelos de negócio etc.) ▪ Experiência-piloto numa cidade ou área metropolitana selecionada (o que poderá permitir a aplicação da EEUM também no transporte de mercadorias). <p>Para a condução do projeto, sugere-se a seguinte alocação de equipes técnicas e tarefas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipe técnica: responsável pelo desenvolvimento do plano de mobilidade urbana que inclui mobilidade elétrica e infraestruturas dedicadas (aquisição e manutenção de veículos elétricos, garagens, esquemas de recarga, infraestruturas prioritárias como estacionamento exclusivo e zonas de carga/descarga em áreas centrais, possibilidade de utilização vias exclusivas, etc.); novos modelos de negócio (garagens móveis, bicicletas e motocicletas/triciclos elétricos para entregas de última milha, etc.); e centros de consolidação/desconsolidação de cargas urbanas. A equipe de pesquisa também será responsável por projetar e realizar treinamentos com planejadores urbanos e empresas de transporte durante o experimento piloto no município/área metropolitana. ▪ Equipe Jurídica: responsável por avaliar a viabilidade jurídica do plano de ação em transporte de carga sustentável e minimizar possíveis causas de insegurança. ▪ Equipe econômica: responsável por avaliar a viabilidade econômica das propostas de intervenções na infraestrutura e de aquisição de veículos de acordo com o tipo de sistema e modelos de negócio que possam ser adotados localmente.
2	Informações-chave da tecnologia	Não aplicável.
3	Descrição técnica da medida de mitigação	<p>Embora os caminhões urbanos representem apenas 1,3% do estoque nacional de veículos, são responsáveis por aproximadamente 10% do consumo de energia no setor de transportes brasileiro. O número relativamente pequeno de caminhões urbanos facilita o planejamento eficaz e a implementação de instrumentos de política nessa área. Como a cobertura operacional das entregas de última milha é limitada, reduz-se a necessidade de estações de recarga e todos os instrumentos associados, como intervenções no espaço urbano e aprovação de normas e regulamentos em falta relativos à interoperabilidade, mecanismos de pagamento etc.</p> <p>Os resultados do presente estudo indicam a viabilidade técnica desta medida de mitigação (ver tabela 3), mas requer pré-condições como financiamento, desincentivos ao uso de tecnologias antigas e conscientização e mobilização dos formuladores de políticas (ver Escopo IV. Barreiras do Projeto e Riscos). Considerando os efeitos desta medida de mitigação aplicada em 49 cidades no período 2026-2040, espera-se um abatimento de 21 Mt CO₂e. Embora este projeto envolva apenas uma cidade.</p>
4	Participantes do projeto	<p>Partes envolvidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brasil (parte anfitriã) <p>Participantes do projeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empresa privada de consultoria (executora). • Contratante interessada (instituição pública ou privada). • Cidades interessadas (prefeituras). • Empresas de transporte interessadas (para a experiência piloto). • Ministério do Desenvolvimento Regional (não obrigatório). Uma parte interessada voluntária que pode contribuir com o projeto durante sua implementação.
5	Potencial de redução de emissões de GEE	Emissões médias anuais evitadas de GEE de 1,9 Mt CO ₂ e/ano entre 2030 e 2040 (considerando uma versão escalável do projeto em 49 cidades – ver seção V.2).
6	Mercado-alvo e potencial	Ganhos de eficiência energética, redução da concentração de poluentes atmosféricos, benefícios na saúde da população (internações por morbidade e redução do ruído), valorização do uso do solo, bem como publicidade são elementos-chave de decisão no financiamento desta proposta.

Tabela 10. CAPEX, OPEX e emissões de GEE evitadas, considerando a aplicação do projeto nas 49 cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes

Ano	CAPEX (milhão USD)	OPEX (milhão USD)	Mt CO ₂ e
2026	4	-19	2
2027	8	-25	
2028	16	-37	
2029	28	-52	
2030	43	-69	
2031	90	-148	19
2032	110	-171	
2033	127	-189	
2034	141	-203	
2035	153	-222	
2036	167	-237	
2037	180	-252	
2038	192	-266	
2039	190	-275	
2040	194	-280	
Total	1,643	-2,443	21

Nota: taxa de câmbio de 12 de agosto de 2022.

Fonte: Autores

III. FINANCIAMENTO DO PROJETO		
1	Principais detalhes do financiamento do projeto	<p>* Investimento total: a ser definido no Plano de Ação (este valor será um dos produtos iniciais do Plano de Ação. Atualmente, nenhum valor de referência ou experimento piloto semelhante está em processo de implementação no Brasil.</p> <p>O valor será significativamente afetado pelo local a ser selecionado e suas necessidades, mas deve incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contratação de instituição executora (e custos relacionados ao desenvolvimento do estudo e aplicação em duas cidades): USD 120.000,00 • Custo de aquisição de caminhões leves e motocicletas elétricas: a ser definido no Plano de Ação • Infraestrutura (estações de carregamento, <i>hubs</i> de consolidação/desconsolidação etc.): a ser definido no Plano de Ação • Outros (consultores externos, eventos de consulta a partes interessadas, divulgação de resultados etc.): USD 30.000,00 <p>Duração do projeto: 2 anos Moeda de financiamento: USD (taxa de câmbio de 12 de agosto de 2022)</p> <p>***O Ministério do Desenvolvimento Regional foi consultado para validar a estimativa de custo de investimento realizada em relação a projetos nacionais de relevância semelhante. O Programa Brasileiro de Logística Verde (PLVB) também foi consultado para validar a estimativa feita quanto aos requisitos de custo para um projeto piloto em um município a ser selecionado.</p>
2	Fontes de financiamento	A atividade de projeto será financiada por entidades públicas e privadas interessadas. Nenhum financiamento público como parte do financiamento do projeto das partes incluídas no Anexo I da UNFCCC está envolvido na atividade do projeto.
3	Créditos de carbono	Não se espera que o projeto seja cofinanciado por meio de padrões de crédito de carbono.
4	Custo por tonelada de carbono (\$/t CO ₂ e)	O custo atinge 0,25 USD/t CO ₂ e em 2030. Ao contrário da Oportunidade de investimento anterior, foi considerado apenas o custo referente ao desenvolvimento do Plano de Ação. Isso se justifica pela incerteza quanto ao número de caminhões elétricos a serem adquiridos, bem como a extensão das intervenções de infraestrutura.

III. FINANCIAMENTO DO PROJETO		
5	Risco de financiamento	<ul style="list-style-type: none"> • O risco cambial pode afetar o preço de veículos elétricos e componentes. • Maior inflação (e taxas de juros) pode reduzir o interesse de potenciais empresas de transporte interessadas em aderir ao plano municipal.
6	Modelagem financeira	Este projeto não possui modelo financeiro, pois está em fase de concepção. Embora o TCO dos caminhões elétricos mostre a viabilidade da tecnologia, algumas empresas precisarão de capital para aquisição. O capital envolvido nesse processo pode vir de fontes locais (BRDE, BDMG, BNDES etc.) e internacionais (BID, GEF, GCF, GTF etc.). Por exemplo, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) promove o financiamento de projetos sustentáveis em países da América Latina e do Caribe por meio de fundos verdes internacionais, como o GCF e o GEF.
7	Modelo de aquisição	<i>Business-to-business</i> (B2B).
9	Fase do projeto	Desenvolvimento de conceito.
10	Suporte e assistência técnica	O Ministério do Desenvolvimento Regional foi consultado para confirmar a importância dessa proposta, dada a inexistência de um plano de mobilidade urbana voltado para o transporte sustentável de cargas nos municípios brasileiros. O ministério também forneceu uma estimativa de custos de investimento com base em projetos de magnitude semelhante no Brasil. Além disso, o PLVB foi consultado para confirmar a importância do projeto e indicar possíveis transportadoras a serem consultadas para o experimento piloto. Nenhum outro suporte de será necessário.

IV. BARREIRAS E RISCOS DO PROJETO		
1	Barreiras e riscos do projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Até o momento, não foram publicados estudos técnicos, econômicos e ambientais locais sobre mobilidade elétrica em transporte urbano de carga e logística. Esta é a principal barreira de acordo com os <i>stakeholders</i> consultados. • Políticas ainda focadas na restrição da circulação de veículos pesados nas áreas urbanas. • Falta de linhas de crédito específicas para tecnologias alternativas. • Presença maciça de caminhões obsoletos e poluentes.
2	Condições viabilizadoras	<ul style="list-style-type: none"> • O Brasil possui importantes fontes de financiamento, mas são necessárias linhas de crédito específicas para VEs. • Incentivos do governo para sucatear caminhões urbanos com MCIs.
3	Desenvolvimento de políticas	<ul style="list-style-type: none"> • Os municípios devem aumentar os benefícios para o uso de caminhões elétricos (áreas de carga e descarga, pedágios urbanos gratuitos etc.). • Campanhas de educação e conscientização com formuladores de políticas, planejadores urbanos e cidadãos.

V. INFORMAÇÕES ADICIONAIS E DOCUMENTAÇÃO		
1	Benefícios e riscos sociais, econômicos e ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto positivo na idade média da frota de caminhões. • Redução do congestionamento nos centros urbanos. • Conectividade de última milha e maior acessibilidade para veículos sustentáveis. • Redução das expectativas de inflação. • Redução dos custos operacionais e do frete. • Menor necessidade de infraestrutura de recarga em relação aos carros elétricos. • Redução das emissões de poluentes atmosféricos. • Redução de gastos com saúde pública. • Redução do ruído dos MCIs. • Maior segurança energética. • Baterias EV de segunda vida podem ser usadas para equilibrar a rede elétrica. • Impacto positivo na imagem dos veículos elétricos, incentivando os operadores a eletrificar caminhões mais pesados em rotas mais longas. • Indústria nacional fortalecida como exportadora de veículos e componentes na América do Sul.

V. INFORMAÇÕES ADICIONAIS E DOCUMENTAÇÃO		
2	Potencial transformacional	O projeto pode ser escalável para 49 cidades e regiões metropolitanas brasileiras, todas com mais de 500 mil habitantes.
3	Aprovações/permisões regulatórias	As atividades deste projeto não necessitam de autorização especial para serem realizadas. No entanto, recomenda-se que um ministério faça a intermediação da assinatura do contrato entre a instituição financiadora e a empresa contratada para desenvolver o estudo, engajando <i>stakeholders</i> e divulgando os resultados.
4	Consulta pública	Espera-se que entrevistas semiestruturadas e/ou um workshop com as principais partes interessadas em mobilidade urbana e empresas de transporte (planejadores urbanos, empresas de transporte, fabricantes, governo, cidadãos etc.) para validação e refinamento dos resultados.
5	Documentação chave e documentos de apoio	Não aplicável.