PEDEP

PLANO DE DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA PARANAENSE

Plano de Descarbonização da Economia Paranaense

Relatório técnico consolidado







PEDEP

PLANO DE DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA PARANAENSE

Plano de Descarbonização da Economia Paranaense

Relatório Técnico Consolidado

FSFA Fundação São Francisco de Assis

PARANÁ PROJETOS

PARANÁ GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ficha Catalográfica

Plano de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP) : relatório técnico consolidado. -- 1. ed. -- Curitiba, PR : Fundação de Apoio A Biodiversidade São Francisco de Assis, 2025.

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-988789-0-0

1. Créditos de carbono - Brasil 2. Dióxido de carbono - Aspectos ambientais - Brasil 3. Dióxido de carbono atmosférico 4. Desenvolvimento sustentável - Aspectos ambientais 5. Desenvolvimento sustentável - Aspectos econômicos 6. Mercado de emissão de carbono 7. Mudanças climáticas 8. Paraná (Estado) - Aspectos ambientais.

25-301630.0 **CDD-363.73874526**

Índices para catálogo sistemático:

1. Crédito de Carbono : Mudanças climáticas : Problemas sociais 363.73874526
Aline Graziele Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Ficha técnica

Governo do Estado do Paraná
Governador: *Carlos Massa Ratinho Junior*

Secretaria de Estado do Planejamento
Secretário: *Ulisses Maia*

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável
Secretário: *Rafael Greca*

Paraná Projetos
Superintendente: *Eduardo Magalhães*
Diretor de Planejamento e Projetos: *Celio José Gonçalves Watter*

Equipe Técnica (Paraná Projetos)
Gustavo Garcia Pasqual
Andressa Pereira Knopik
Clarissa Ribeiro de Sá Rodrigues Olinda

Executor
Fundação São Francisco de Assis - FSFA

Equipe Técnica (FSFA)
Diane Mara Varanda Rangel
Vlictor Alexandre Bittencourt Sucupira
Carlos Gomes Pessoa
Willian Wills
Renzo Solari
Isadora Mendes
Carolina de Moraes Calvente
Leise Carolina Gomes
Alexandre Pereira e Silva
Karine Gomes
Leonardo Duarte
Marcelo Botrel
Pedro Fraga
Gabriela Guerrero
George Magalhães
José Nunes Pinto Neto

Consultores Especialistas Setoriais

Modelagem Integrada

William Wills, D.Sc.
Renzo Solari, M.Sc.
Isadora Mendes, M.Sc.

AFOLU-Resíduos

Helder Rafael Nocko, M.Sc.
Débora Lia Perazzoli, M.Sc.
Amanda Pontes Maia Pires Alcantara, D.Sc.
Matheus Bueno Patricio, M.Sc.
Andreas Grauer, D.Sc.
Roberta Gregório, Engenheira Ambiental
Paulo Henrique Costa, M.Sc.

Transporte

Daniel Neves Schmitz Gonçalves, D.Sc.
George Vasconcelos Goes, D.Sc.

Energia

Amaro Pereira, D.Sc.
Hugo Bozelli
Annelys Machado, M.Sc.

IPPU

Christiano Campos, D.Sc.
Isadora Mendes, M.Sc.

Grupo de Trabalho

SEDEST *(coordenação)*

Rafael Andreguetto
Walquiria de Andrade
Vanessa Cristina M. Gomes

Paraná Projetos *(Secretaria Executiva)*

Andressa Knopik
Clarissa Ribeiro

SEPL

Fabrício Miyagima
Chayanne Telles

SEAB

Breno Campos
Charles Cortelini

IAT

Patricia Rosa
Alan Augustynczik

SEFA

Luana Rebouças
Rebeca Sanches

SEAP

Simone Israel
Luciane Hoch

SEIC

Rodrigo dos Santos
Luciana Muller

TECPAR

Celos Klos
Simone Campos

INVEST Parana

Rogerio Chaves
Giancarlo Rocco

Carlos Massa

Governador do Estado
do Paraná



Plano de Descarbonização da Economia Paranaense: compromisso com um futuro verde

O Paraná é reconhecido como um dos estados mais sustentáveis do Brasil e há anos ocupa o topo do Ranking de Competitividade. Esse resultado não ocorre por acaso, reflete escolhas planejadas que unem crescimento econômico, proteção da natureza e bem-estar da população. O compromisso do Estado já ultrapassou fronteiras e recebeu destaque da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Nós induzimos o crescimento da economia, que se desenvolve acima da média nacional, sempre com atenção ao bem-estar da população e na proteção da fauna e da flora.

Um dos passos para o futuro está no Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP). O documento é fruto de estudos de representantes de diversas áreas, considera critérios técnicos e olha para os desafios de cada região, com planos de ação e fiscalização. Ele foi construído de maneira coletiva e colaborativa.

O documento demonstra que o Brasil pode avançar rumo a uma economia mais verde, desde que os entes da Federação fortaleçam sua atuação e trabalhem de forma integrada em torno de uma agenda de governança climática. Para isso, estão sendo estruturados novos incentivos econômicos e estímulos à inovação ambiental.

Com elevado potencial de compensação, o Paraná, por meio do PEDEP, projeta a redução das emissões até 2050. Essa iniciativa confirma nosso protagonismo e sinaliza um futuro verde e sustentável.

Ulisses Maia

Secretário de Estado do
Planejamento do Paraná



O Governo do Paraná reforça o compromisso com o meio ambiente, a sustentabilidade e o bem-estar das pessoas.

É com grande orgulho e satisfação que a Secretaria de Estado do Planejamento do Paraná (SEPL), em conjunto com o Serviço Social Autônomo Paraná Projetos, torna público o Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP).

O PEDEP é resultado de trabalho planejado e estratégico que o Paraná vem desenvolvendo, reafirmando o compromisso com a implementação de ações voltadas à neutralização das emissões de gases de efeito estufa. A elaboração do plano está inserida nesse contexto, como parte da Política Estadual sobre Mudança do Clima.

O Estado se organiza e planeja, de forma estratégica, um futuro sustentável para a economia, assegurando o desenvolvimento aliado às soluções que o momento atual exige. Nossas ações são projetadas para hoje, mas também pensando no futuro dos paranaenses.

Ao projetar a transição para uma economia de baixo carbono, em consonância com os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil, o Paraná se consolida como protagonista na agenda climática global, contribuindo para uma melhor qualidade de vida da população em todas as regiões do Estado.

Rafael Greca

Secretário de Estado do Desenvolvimento Sustentável



O Paraná na vanguarda da descarbonização

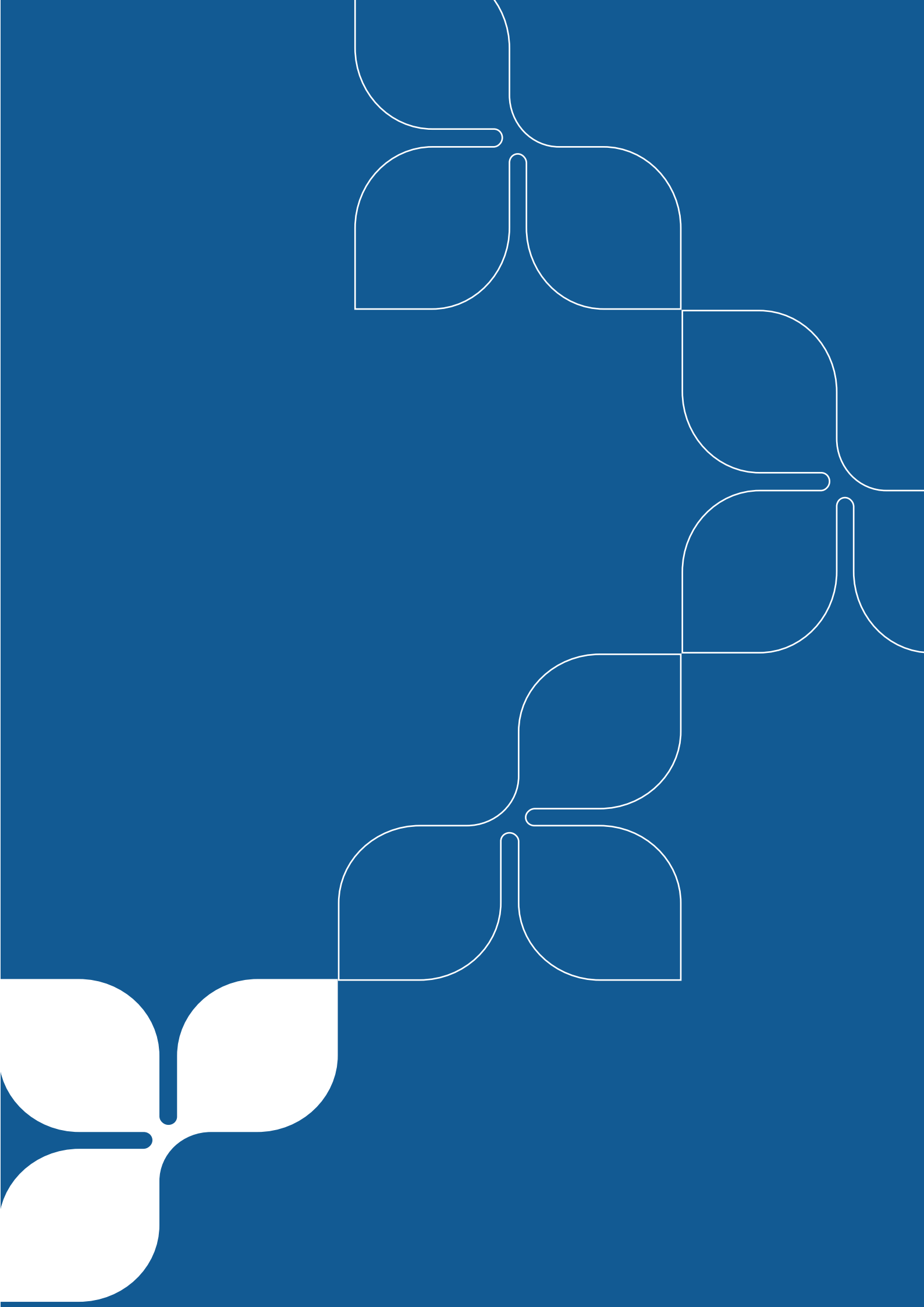
O Paraná reafirma, com serenidade e firmeza, seu compromisso com o futuro do planeta. Reconhecido como o estado mais sustentável do Brasil, avança com um Plano de Descarbonização (Pedep) completo, articulado e transparente. É uma estratégia urgente, que responde ao desafio de conter o aquecimento global e gerar prosperidade para todos.

Curitiba, nossa capital de inteligência urbana e verde permanente, é exemplo desse caminho. Cada novo parque, horta de segurança alimentar, painel de energia solar e ônibus do transporte coletivo descarbonizado mostram que inovação ambiental e proteção da natureza podem — e devem — caminhar juntas.

O Plano de Descarbonização reúne a força do Paraná: cooperativas comprometidas, agronegócio sustentável, mais de 400 plantas de biogás, produção de hidrogênio verde e a tradição de energia limpa das hidrelétricas. Juntas, essas iniciativas formam uma base sólida para apresentar ao mundo um plano consistente, participativo e inspirador.

A Secretaria do Desenvolvimento Sustentável (SEDEST) também implementa ações e regulamentações alinhadas às metas climáticas nacionais e internacionais. Entre elas, destaca-se o Selo Clima Paraná, um registro público e voluntário de emissões e remoções de gases de efeito estufa, que valoriza as boas práticas de municípios, instituições públicas e privadas. Assim, o Estado se consolida como referência em ação climática, unindo políticas públicas, inovação e sustentabilidade.

Este Plano é o reflexo do melhor do Paraná: inovação, energia limpa, cooperativismo, respeito à natureza e compromisso com as futuras gerações. Com transparência, participação social e responsabilidade ambiental, mostra que é possível conciliar desenvolvimento e qualidade de vida. Este é o Paraná que avança, decidido a ser referência nacional em descarbonização.



Índice

SUMÁRIO EXECUTIVO 16

APRESENTAÇÃO 28

INTRODUÇÃO 30

1. Construção do Plano 32

1.1 Análise dos Inventários e do Perfil das Emissões do Estado 33

1.2 Elaboração do Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP) 33

1.2.1 Avaliação de Programas e Ações de Descarbonização em Andamento no Estado do Paraná 34

1.2.2 Análise Multicritério e Definição de Medidas de Descarbonização e Metas 34

1.2.3 Modelagem de Cenários (Referência e Net-Zero) 34

1.2.4 Apresentação de Metas e Planos de Ação 35

1.2.5 Análise de Limitações e Desafios das Medidas de Descarbonização Selecionadas 35

1.2.6 Monitoramento e Indicadores 36

1.2.7 Proposição de Instrumentos de Política Pública 36

DIAGNÓSTICO E ELABORAÇÃO DA DESCARBONIZAÇÃO 38

2. Caracterização do Estado 40

3. Medidas de Descarbonização (Análise Multicritério e Priorização) 40

3.1 Priorização Setorial 41

4. Modelagem de cenários 42

4.1 Metodologia e Premissas 42

4.1.1 AFOLU 43

4.1.2 Energia 43

4.1.3 Transportes 44

4.1.4 IPPU 44

4.1.5 Resíduos e Efluentes 44

4.2 Resultados 45

4.2.1 AFOLU 48

4.2.2 Energia 49

4.2.3 Transportes 49

4.2.4 IPPU 50

4.2.5 Resíduos e Efluentes 51

ESTRATÉGIAS PARA DESCARBONIZAÇÃO DO PARANÁ 54

5. AFOLU 56

5.1 Medidas priorizadas e metas adotadas 57

5.2 Análise das Barreiras e Estratégias de Superação 60

5.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) 62

5.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) 62

5.3.2 Fontes de Dados 63

5.3.3 Governança do MRV 63

5.4 Custos de Implementação 63

6. ENERGIA 66

6.1 Medidas priorizadas e metas adotadas 67
6.2 Análise das Barreiras e Estratégias de Superação 70
6.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) 73
6.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) 73
6.3.2 Fontes de Dados 74
6.3.3 Governança do MRV 75
6.4 Custos de Implementação 75
7. TRANSPORTES 78
7.1 Medidas priorizadas e metas adotadas 79
7.2 Análise das Barreiras e Estratégias de Superação 81
7.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) 85
7.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) 85
7.3.2 Fontes de Dados 87
7.3.3 Governança do MRV 87
7.4 Custos de Implementação 88
8. IPPU 90
8.1 Medidas priorizadas e metas adotadas 91
8.2 Análise das Barreiras e Ações de Superação 93
8.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) 94
8.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) 95
8.3.2 Fontes de Dados 95
8.3.3 Governança do MRV 96
8.4 Custos de Implementação 96
9. RESÍDUOS E EFLUENTES 98
9.1 Medidas priorizadas e metas adotadas 100
9.2 Análise das Barreiras e Estratégias de Superação 102
9.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) 105
9.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) 106
9.3.2 Fontes de Dados 107
9.3.3 Governança do MRV 107
9.4 Custos de Implementação 108
10. PROPOSTAS DE FOMENTO E FINANCIAMENTO 110
11. INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA 111
12. MERCADO DE CARBONO 113
CONSIDERAÇÕES FINAIS 116
REFERÊNCIAS TÉCNICAS E BIBLIOGRÁFICAS 120
APÊNDICES 124
Apêndice A - Fichas técnicas das medidas priorizadas por setor 125
Apêndice B - Matriz SWOT das medidas setoriais 128

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Síntese das emissões dos cenários em 2050, por setor (MtCO2e) 45

Tabela 2 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de AFOLU (MtCO2e) 58

Tabela 3 – Metas de Descarbonização para o Setor de AFOLU 59

Tabela 4 – Plano de Ação para o Setor de AFOLU 60

Tabela 5 – Indicadores de Monitoramento para as medidas de AFOLU 62

Tabela 6 – Síntese dos custos por medida para o Setor de AFOLU 64

Tabela 7 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de Energia (MtCO2e) 69

Tabela 8 – Metas de Descarbonização para o Setor de Energia 70

Tabela 9 - Plano de Ação para o setor de Energia 71

Tabela 10 - Indicadores de Monitoramento para as medidas de Energia 74

Tabela 11 – Síntese dos custos por medida para o Setor de Energia 75

Tabela 12 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de Transportes 80

Tabela 13 – Metas de Descarbonização para o Setor de Transportes 81

Tabela 14 – Plano de Ação para Transportes 82

Tabela 15 - Indicadores de Monitoramento para as medidas de Transportes 85

Tabela 16 - Síntese dos custos por medida para o Setor de Transportes 88

Tabela 17 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de IPPU 92

Tabela 18 - Metas de Descarbonização para o Setor de IPPU 92

Tabela 19 – Plano de Ação do Setor de IPPU 93

Tabela 20 – Indicadores de Monitoramento para as medidas de IPPU 95

Tabela 21 – Síntese dos custos por medida para o Setor de IPPU 96

Tabela 22 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de Resíduos e Efluentes 100

Tabela 23 - Metas de Descarbonização para o Setor de Resíduos e Efluentes 101

Tabela 24 - Plano de Ação do Setor de Resíduos e Efluentes 102

Tabela 25 - Indicadores de Monitoramento para as medidas de Resíduos e Efluentes 106

Tabela 26 - Síntese dos custos por medida para o Setor de Resíduos e Efluentes 108

Tabela 27 - Análise SWOT para estratégia “Mitigar a emissão de Carbono decorrentes de atividades agropecuárias” 128

Tabela 28 - Análise SWOT para estratégia “Promover a compensação de emissões por meio de tecnologias de agricultura de baixo carbono” 130

Tabela 29 - Análise SWOT para estratégia “Compensação de emissões por meio de restauração da vegetação nativa” 132

Tabela 30 - Análise SWOT para estratégia “Redução e compensação de emissões por meio de alteração de Usos da Terra” 134
Tabela 31 – Análise SWOT para “Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais Eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência” 136
Tabela 32 – Análise SWOT para “Aumento da Produção de Biogás com Resíduos Animais” 136
Tabela 33 – Análise SWOT para “Expansão da Geração Elétrica a partir de Biogás e Biometano” 137
Tabela 34 – Análise SWOT para “Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia” 137
Tabela 35 – Análise SWOT para “Expansão da Geração Elétrica a partir de Biomassa e Cogeração com Bagaço” 138
Tabela 36 – Análise SWOT para “Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis” 138
Tabela 37 – Análise SWOT para “Aproveitamento de Resíduos Industriais para Geração de Energia” 139
Tabela 38 – Análise SWOT para “Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH)” 139
Tabela 39 – Análise SWOT para “Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável” 140
Tabela 40 – Análise SWOT da medida “Promover o uso de Transporte Ferroviário 141
Tabela 41 - Análise SWOT da medida “Promover o uso de Transporte Aquático” 142
Tabela 42 – Análise SWOT da medida “Promover o uso do transporte ativo” 144
Tabela 43 – Análise SWOT da medida “Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão – individual” 146
Tabela 44 – Análise SWOT da medida “Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo)” 148
Tabela 45 – Análise SWOT da medida “Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)” 150
Tabela 46 – Análise SWOT da medida “Promover o uso de biocombustíveis – etanol” 152
Tabela 47 – Análise SWOT da medida “Promover o uso de biocombustíveis – biodiesel” 155
Tabela 48 – Análise SWOT da medida “Promover o uso de biocombustíveis avançados – Diesel verde” 157
Tabela 49 – Análise SWOT da medida “Promover o uso de biocombustíveis avançados – SAF” 159
Tabela 50 – Análise SWOT da medida “Promover o uso de biocombustíveis avançados – Biometano” 161
Tabela 51 – Análise SWOT para “Consumo de energia (térmica e elétrica) na indústria do cimento” 163

Tabela 52 – Análise SWOT para “Processo por via seca com múltiplos estágios” 163
Tabela 53 – Análise SWOT para “Adição de carboneto de escória” 163
Tabela 54 – Análise SWOT para “Melhorias no sistema de combustão” 164
Tabela 55 – Análise SWOT para “Sistema de controle avançado (forno elétrico)” 164
Tabela 56 – Análise SWOT para “Preaquecimento da sucata” 164
Tabela 57 – Análise SWOT para “Queimadores tipo oxy-fuel” 165
Tabela 58 – Análise SWOT para “Captura, Uso e Armazenamento de Carbono (CCUS)” 165
Tabela 59 - Análise SWOT da estratégia: Potencializar ações de sensibilização e gestão de resíduos sólidos e efluentes para redução das emissões de GEE 166
Tabela 60 - Análise SWOT da Estratégia: Implementar medidas de valorização energética do metano proveniente da degradação resíduos sólidos e efluentes 168

Índice de Figuras

Figura 1 - Emissões setoriais do Paraná em 2019 17
Figura 2 – Etapas de elaboração do PEDEP 18
Figura 3 – Contribuição dos setores para evolução das emissões de 2025 a 2050 nos Cenários Referência e Net Zero (Mt CO2e) 22
Figura 4 – Critérios e Subcritério 41
Figura 5 – Gráfico de comparação de emissões entre os cenários propostos no ano de 2050 (em MtCO2e) 46
Figura 6 – Contribuição dos setores para evolução das emissões de 2025 a 2050 no Cenário Referência (MtCO2e) 47
Figura 7 – Contribuição dos setores para evolução das emissões de 2025 a 2050 no Cenário Net Zero (MtCO2e) 47
Figura 8 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra 48
Figura 9 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de Energia 49
Figura 10 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de Transportes 50
Figura 11 – Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de IPPU 51
Figura 12 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do Setor de Resíduos e Efluentes 52

Sumário Executivo

1. Visão Geral

O Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP) constitui o principal instrumento estratégico do Governo do Estado do Paraná para conduzir a transição rumo à uma economia de baixo carbono, resiliente e competitiva, em alinhamento às diretrizes nacionais e compromissos internacionais do Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

O documento responde à necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e, ao mesmo tempo, modernizar a base produtiva estadual. O Paraná, quinto maior PIB do país e polo relevante da agropecuária, da indústria e da energia, possui papel central na agenda climática brasileira. Seu perfil de emissões é concentrado em setores-chave, como agricultura, uso da terra, transportes e energia, o que reforça a importância de um plano de ação articulado e abrangente.

O objetivo central do PEDEP é alcançar a neutralidade climática até 2050, assegurando que o balanço entre emissões e remoções seja nulo ou até negativo. A ambição não se limita à mitigação: o plano busca também gerar inovação, atrair investimentos, criar empregos qualificados e ampliar a competitividade das cadeias produtivas locais em um contexto de economia global em transformação.

Sua construção resultou de uma metodologia integrada que envolveu análises técnicas, modelagem de cenários até 2050 e definição de metas setoriais. O processo mobilizou especialistas, órgãos de governo, academia e sociedade civil, garantindo robustez técnica, aderência institucional e exequibilidade das propostas.

Ao todo, o PEDEP estrutura um portfólio de medidas prioritárias em cinco setores estratégicos (AFOLU, Energia, Transportes, IPPU e Resíduos e Efluentes), apoiado por mecanismos de financiamento inovadores, instrumentos de política pública e arranjos de governança. No Cenário Net Zero, projetado pelo plano, o Paraná não apenas atinge a neutralidade, como se torna absorvedor líquido de carbono, com emissões negativas em 2050.

O PEDEP, portanto, projeta uma trajetória de transformação estrutural da economia estadual, capaz de posicionar o Paraná como referência nacional em inovação climática e competitividade verde, conciliando metas ambientais ambiciosas com desenvolvimento socioeconômico e justiça socioambiental.

2. Contexto Econômico e Climático

O Paraná destaca-se como um dos estados mais dinâmicos do Brasil, com forte presença nos setores agropecuário, florestal, industrial e energético. Em 2019, contava com uma população de aproximadamente 11,5 milhões de habitantes e um Produto Interno Bruto (PIB) de R$ 487 bilhões, posicionando-se como o quinto maior do país em termos absolutos. Essa relevância econômica reflete-se diretamente no perfil de emissões de gases de efeito estufa (GEE), exigindo respostas estratégicas robustas e coordenadas.

A distribuição territorial das atividades econômicas é heterogênea: a agropecuária concentra-se no oeste e norte, com destaque para produção de grãos e proteína animal, enquanto polos industriais relevantes localizam-se na Região Metropolitana de Curitiba, no centro-sul e no sudoeste do estado. Essa configuração cria tanto oportunidades quanto vulnerabilidades em termos de transição para uma economia de baixo carbono.

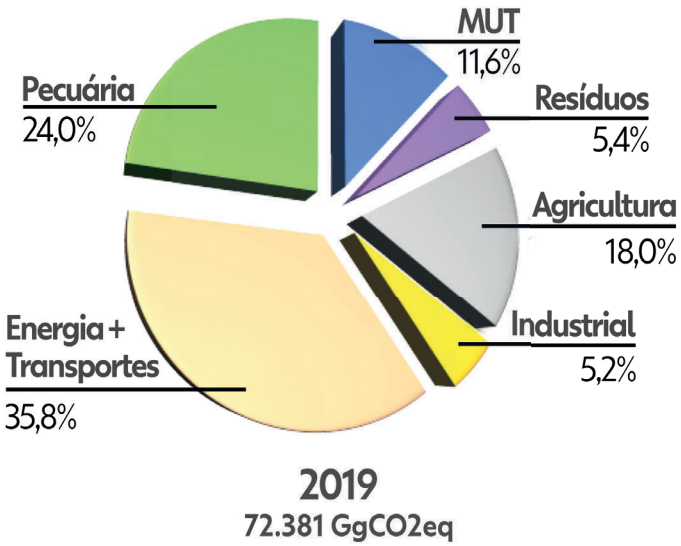


Figura 1 - Emissões setoriais do Paraná em 2019

Fonte: Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná

O inventário estadual de emissões de 2019 indica que o Paraná apresenta um perfil emissor fortemente concentrado em dois setores:

Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU): responsável por 54% das emissões líquidas, refletindo o peso da agropecuária intensiva e das mudanças de uso do solo.

Energia: responsável por 36% das emissões, sobretudo ligadas ao consumo de combustíveis fósseis em transportes e processos industriais.

Os setores de Resíduos e Efluentes e Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) respondem por cerca de 5% cada. Dentro das atividades mais emissoras, destacam-se o transporte rodoviário (28% do total), a fermentação entérica da pecuária (22%) e a mudança do uso da terra (12%).

Além de ser grande emissor, o Paraná já sofre os efeitos das mudanças climáticas: estiagens recorrentes no Noroeste, alagamentos no centro e enxurradas no Oeste ameaçam a segurança hídrica, a produção agropecuária e a infraestrutura urbana. Tais vulnerabilidades ampliam a necessidade de associar a estratégia de descarbonização à agenda de adaptação climática.

Nesse contexto, o PEDEP é uma oportunidade para transformar desafios em vantagens competitivas: promover a diversificação da matriz energética, consolidar práticas agrícolas sustentáveis, modernizar a indústria e redesenhar a logística estadual. Trata-se de um esforço integrado para conciliar crescimento econômico, segurança climática e inclusão social, elevando o Paraná à condição de protagonista da agenda climática no Brasil.

3. Construção e Metodologia

A elaboração do Plano Estadual de Descarbonização da Economia do Paraná (PEDEP) seguiu um processo estruturado e participativo, com sete fases principais, concebidas para garantir robustez técnica, aderência institucional e legitimidade social.



Figura 2 – Etapas de elaboração do PEDEP

A primeira etapa consistiu no mapeamento de programas e políticas existentes, assegurando sinergia com iniciativas já em curso e evitando sobreposição de esforços. Em seguida, foi realizada uma análise multicritério de medidas de mitigação, envolvendo critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais, que resultou na seleção inicial de 61 medidas prioritárias com potencial expressivo de redução de emissões.

Com base nessa carteira de medidas, procedeu-se à modelagem de cenários de emissões até 2050, que comparou duas trajetórias:

Cenário de Referência, que projeta a evolução das emissões considerando apenas políticas já implementadas, sem novas intervenções.

Cenário Net Zero, que incorpora a adoção integral das medidas priorizadas, refletindo o esforço necessário para alcançar a neutralidade climática.

As fases subsequentes contemplaram a definição de metas setoriais, a formulação de planos de ação detalhados, a identificação de indicadores de monitoramento e a proposição de instrumentos de política pública e financiamento. Cada etapa contou com a participação de especialistas técnicos e de um Grupo de Trabalho interinstitucional, assegurando alinhamento entre ciência, política e prática.

A metodologia adotada baseou-se em premissas macroeconômicas e demográficas validadas pelo Governo do Estado, além de variáveis como evolução da matriz energética, intensidades de carbono setoriais, taxas de adoção tecnológica e potenciais de abatimento. Esse rigor metodológico conferiu credibilidade aos resultados e viabilizou a construção de cenários realistas, ancorados na realidade estadual e compatíveis com as diretrizes nacionais e internacionais.

O grande diferencial do processo foi o caráter integrador e intersetorial: o plano não se restringiu a análises isoladas por setor, mas buscou identificar sinergias e co-benefícios entre agricultura, energia, transportes, indústria e resíduos. Esse enfoque sistêmico assegura maior efetividade e reduz riscos de medidas contraditórias ou de difícil implementação.

Assim, o PEDEP emerge como uma estratégia de Estado, construída sobre bases técnicas sólidas e com forte capacidade de orientar decisões políticas, investimentos privados e cooperação internacional em torno da agenda climática.

4. Estratégias Setoriais de Descarbonização

A transição do Paraná para uma economia neutra em carbono até 2050 depende da transformação profunda de cinco setores estratégicos: Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU), Energia, Transportes, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), e Resíduos e Efluentes. O PEDEP define medidas prioritárias para cada setor, estabelecendo metas de curto, médio e longo prazo e quantificando o potencial de mitigação associado.

A seguir, sintetizam-se as principais linhas de ação, destacando a contribuição de cada setor para o alcance da neutralidade climática.

4.1 Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU)

O setor AFOLU é, atualmente, o maior responsável pelas emissões líquidas do Paraná, respondendo por 54% do total estadual em 2019 (2INVPR, 2023). Ao mesmo tempo, apresenta o maior potencial de mitigação, sendo determinante para que o estado se torne absorvedor líquido de carbono até 2050.

As medidas priorizadas incluem, entre outras:

- Recuperação de pastagens degradadas e promoção de sistemas integrados de produção (lavoura-pecuária-floresta), com aumento da produtividade e redução da pressão sobre áreas de vegetação nativa.
- Expansão de sistemas agroflorestais e florestas plantadas com manejo sustentável, gerando benefícios ambientais e econômicos.
- Restauração de vegetação nativa em Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal e ecossistemas prioritários.
- Eliminação do desmatamento ilegal até 2035, medida crítica para compatibilizar a produção agropecuária com a proteção ambiental.
- Gestão de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano, reduzindo emissões de metano e promovendo geração de energia renovável.

Impacto esperado: até 2050, o setor passa de maior emissor a grande sumidouro, atingindo –27,22 $MtCO_2e$ (Milhões de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente), resultado da combinação de práticas sustentáveis e de restauração florestal em larga escala.

4.2 Energia

O setor de Energia representou cerca de 36% das emissões em 2019 (2INVPR, 2023), com forte peso do consumo de combustíveis fósseis nos transportes e em processos industriais. Quando desconsideradas as emissões de Transporte, o setor de Energia representa aproximadamente 10% das emissões de GEE do Estado do Paraná em 2019.

Apesar da elevada participação da hidroeletricidade na matriz estadual, o desafio reside na substituição de fontes fósseis e na modernização dos usos finais.

Principais medidas:

- Expansão do biogás, biometano e biomassa para geração elétrica e cogeração industrial, aproveitando dejetos agroindustriais e florestais.
- Produção de hidrogênio verde, com implantação inicial de plantas piloto e expansão para produção em escala industrial até 2050.
- Modernização dos processos industriais com tecnologias de ponta, automação e digitalização, garantindo maior eficiência energética.
- Substituição progressiva de equipamentos antigos em setores residenciais, comerciais e industriais por motores, compressores e sistemas de alta eficiência.
- Expansão da produção de biocombustíveis, consolidando etanol, biodiesel e combustíveis avançados como alternativas estruturantes.

Impacto esperado: redução de 90,2% das emissões do setor até 2050, viabilizando a descarbonização de setores intensivos em energia e gerando nova base tecnológica para o desenvolvimento econômico.

4.3 Transportes

O setor de Transportes respondeu por 26% das emissões líquidas em 2019 (2INVPR, 2023), reflexo da predominância do modal rodoviário (mais de 90% da matriz de transporte estadual). A estratégia proposta envolve uma transformação estrutural da mobilidade, com forte integração de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável.

Principais medidas:

- Eletrificação progressiva da frota de automóveis e ônibus, com estímulos à produção local e adoção em larga escala.
- Substituição por biocombustíveis sustentáveis (etanol, biodiesel avançado, diesel verde, SAF para aviação).
- Expansão do transporte ferroviário e hidroviário, reduzindo a dependência do transporte rodoviário de cargas.
- Incentivo à mobilidade ativa (bicicletas, caminhadas) e a soluções de transporte individual de baixa emissão.
- Integração do biometano à matriz de combustíveis veiculares.

Impacto esperado: redução de 53,4% das emissões do setor até 2050, com ganhos adicionais em qualidade do ar, saúde pública, eficiência logística e competitividade econômica.

4.4 Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)

O setor de IPPU representou cerca de 6% das emissões em 2019 (2INVPR, 2023), mas envolve emissões difíceis de abater ligadas à produção de cimento, cal, aço e produtos químicos. Essas emissões decorrem de transformações físico-químicas e não apenas da queima de combustíveis.

Medidas estratégicas:

- Substituição de matérias-primas e adição de escória siderúrgica para reduzir emissões no cimento.
- Eficiência térmica e energética nos processos de cimento e aço, com uso de pré-aquecimento e queimadores oxy-fuel.
- Controle avançado e digitalização de processos industriais.
- Adoção de tecnologias de captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS) em setores de cimento, cal e química, apesar dos custos elevados.

Impacto esperado: redução de 41,2% das emissões do setor até 2050, viabilizando a permanência competitiva das indústrias paranaenses em mercados globais cada vez mais exigentes em termos de pegada de carbono.

4.5 Resíduos e Efluentes

Embora responda por apenas 5% das emissões totais (2INVPR, 2023), o setor de Resíduos e Efluentes apresenta alto potencial de mitigação a custos relativamente baixos. A maior parte das emissões vem do metano liberado em aterros sanitários e no tratamento de esgoto.

Medidas prioritárias:

- Universalização do tratamento de esgoto até 2040, ampliando cobertura e eficiência.
- Expansão da compostagem e biodigestão de resíduos urbanos, agrícolas e industriais.
- Aproveitamento energético do biogás de aterros e ETEs, inclusive para produção de biometano.
- Incineração controlada de resíduos não recicláveis com aproveitamento energético.
- Aumento da coleta seletiva e reciclagem, reduzindo a destinação de resíduos recicláveis a aterros.

Impacto esperado: mitigação de até 60,8% das emissões do setor até 2050, com benefícios adicionais em saúde pública, gestão urbana e geração de energia renovável descentralizada.

Síntese

A combinação das medidas setoriais permite que o Paraná reduza 51,75 $MtCO_2e$ em 2050 em comparação ao cenário de referência, tornando-se um absorvedor líquido de carbono. O destaque recai sobre o setor AFOLU, que assume papel central como sumidouro de carbono, mas o sucesso dependerá da integração intersetorial, de arranjos de governança sólidos e da mobilização de financiamento em larga escala.

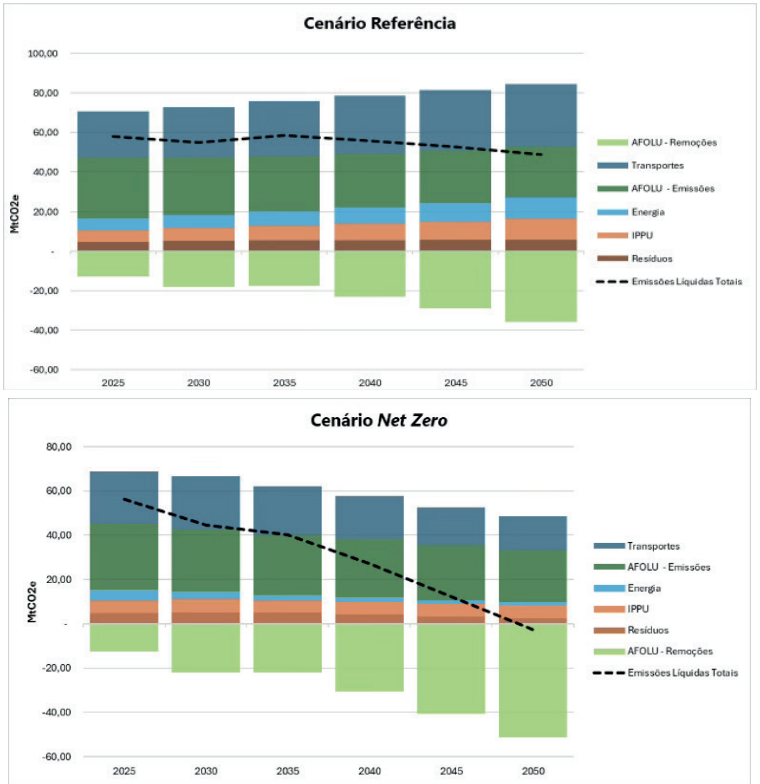


Figura 3 – Contribuição dos setores para evolução das emissões de 2025 a 2050 nos Cenários Referência e Net Zero (Mt CO2e)

5. Instrumentos de Financiamento

A viabilização das ações propostas pelo PEDEP depende da criação de condições financeiras adequadas, que articulem mecanismos estaduais, nacionais e internacionais. A estratégia de fomento proposta considera os diferentes perfis setoriais da economia paranaense e abrange desde incentivos fiscais e linhas de crédito até garantias, parcerias público-privadas e mecanismos de mercado.

I. Incentivos Fiscais Estaduais

O plano prevê a adoção de instrumentos fiscais voltados a empresas e setores estratégicos:

- ICMS Verde-Industrial, reduzindo alíquotas para companhias que comprovem redução efetiva de emissões.
- Crédito presumido para aquisição de equipamentos de alta eficiência energética.
- Renúncia fiscal condicionada ao cumprimento de metas climáticas mensuráveis e verificáveis.

II. Linhas de Financiamento Verde

No nível estadual, o Fomento Paraná e o BRDE deverão operar linhas de crédito verde, com condições diferenciadas para tecnologias prioritárias como bioenergia, mobilidade elétrica, saneamento e eficiência energética.

Em âmbito nacional, o estado deverá articular-se a programas já existentes, como:

- BNDES Fundo Clima,
- FINEP Inova Sustentabilidade,
- Plano Safra Verde.

Para apoiar cooperativas, pequenas e médias empresas e a agricultura familiar, propõe-se a criação do programa estadual Paraná Mais Sustentável, voltado a democratizar o acesso ao crédito climático.

III. Instrumentos de Risco e Garantias

Dada a natureza de projetos intensivos em capital e risco tecnológico, como CCUS e biodigestores em larga escala, são propostos:

- Fundos garantidores e seguros climáticos para reduzir riscos e atrair capital privado.
- Subvenções cruzadas, utilizando receitas de concessões estaduais para subsidiar programas municipais de mitigação e inovação.

IV. Parcerias Público-Privadas (PPPs) e Captação Internacional

O plano prevê a utilização de PPPs e concessões como mecanismos-chave para alavancar investimentos privados em setores estratégicos, incluindo:

- Transporte público elétrico,
- Saneamento básico,
- Bioenergia.

Além disso, recomenda-se acessar recursos de instituições multilaterais como como Global Environment Facility (GEF), Green Climate Fund (GCF), Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMA), Climate Investment Funds, Banco Mundial, Banco de desarrollo de América Latina y El Caribe (CAF) e Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), aproveitando o crescente interesse internacional em financiar projetos subnacionais de descarbonização.
Propõe-se ainda um projeto-piloto estadual de captação direta, estruturado a partir do portfólio de ações do PEDEP, com apoio de bancos de desenvolvimento internacionais.

V. Mercados de Carbono

Com a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), todos os estados estarão inseridos em um marco nacional de precificação de carbono. O papel do Paraná será:

- Adequar sua regulação estadual, preparando setores prioritários para participação no mercado.
- Qualificar projetos locais em áreas como biogás, reflorestamento e eficiência industrial, garantindo geração de créditos de carbono de alta integridade.
- Desenvolver programas estaduais de compensação voluntária, que criem lastro em iniciativas locais e atraiam empresas interessadas em neutralizar emissões.

Síntese

Os instrumentos financeiros propostos conferem ao PEDEP uma estratégia abrangente de fomento, combinando incentivos e crédito verde com mitigação de riscos, PPPs, captação internacional e integração aos mercados de carbono. Essa arquitetura financeira é essencial para reduzir barreiras de investimento, ampliar a escala de projetos e consolidar o Paraná como referência nacional em financiamento climático e inovação verde.

6. Instrumentos de Política Pública

A efetiva implementação do PEDEP requer um conjunto de instrumentos de política pública que assegurem coerência regulatória, previsibilidade econômica e engajamento dos diferentes atores da sociedade. Esses instrumentos foram organizados em quatro dimensões funcionais, que se complementam e estruturam a governança da descarbonização.

I. Comando e Controle

- Critérios climáticos no licenciamento ambiental, incorporando limites de emissões e padrões de eficiência energética.
- Regulamentações técnicas mínimas para equipamentos, veículos e processos produtivos.
- Fiscalização reforçada e sanções condicionadas ao desempenho climático, garantindo

cumprimento de metas de redução.

II. Econômico-Financeiros

- Incentivos fiscais e tarifários (ex.: ICMS Verde, crédito presumido, renúncia fiscal condicionada).
- Linhas de crédito verde e garantias públicas, via Fomento Paraná, BRDE e Fundo Clima.
- Precificação de carbono, com integração futura ao SBCE, criando sinal econômico robusto para redução de emissões.
- Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), voltados à restauração florestal, compostagem e conservação de recursos hídricos.

III. Gestão e Governança

- Planos setoriais e municipais de mitigação, articulados ao PEDEP e integrados ao Plano de Ação Climática do Paraná.
- Acordos voluntários com indústrias e associações empresariais, vinculados a metas de descarbonização.
- Capacitação técnica e programas de formação, ampliando a competência de gestores públicos e privados.
- Educação climática para promover engajamento social e consciência ambiental.

IV. Planejamento Territorial e Ordenamento

- Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) como referência obrigatória para investimentos.
- Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) para grandes empreendimentos.
- Plano Diretor Climático municipal, obrigatório para cidades acima de 50 mil habitantes.

Inovações Regulamentares

O PEDEP ainda propõe instrumentos inovadores que diferenciam o Paraná no cenário nacional:

» Certificações ambientais estaduais para cadeias produtivas alinhadas ao baixo carbono.

» Plataforma digital de MRV (Monitoramento, Relato e Verificação), com transparência e interoperabilidade de dados.

» Sandbox regulatório em parceria com universidades e startups, permitindo testar novas tecnologias em ambiente controlado.

» Mecanismos de compartilhamento de créditos de carbono entre empresas e municípios, ampliando a escala de participação.

Esses instrumentos conferem ao PEDEP a capacidade de combinar rigor regulatório, estímulos econômicos, inovação institucional e planejamento territorial, garantindo que o processo de descarbonização seja coerente, exequível e socialmente inclusivo.

7. Governança e Monitoramento

A implementação do PEDEP depende de uma arquitetura de governança sólida, capaz de articular os diferentes níveis de governo, setor privado, academia e sociedade civil, garantindo coordenação, transparência e efetividade. A proposta de governança busca transformar o plano em uma estratégia de Estado, com continuidade política e institucional.

Estrutura de Governança

- Comitê Gestor Estadual de Descarbonização: instância central, com representação multissetorial, responsável por coordenar a execução do PEDEP, avaliar resultados, ajustar estratégias e articular-se com órgãos federais e internacionais.
- Grupos de Trabalho Setoriais: formados por especialistas e representantes das cadeias produtivas, responsáveis por detalhar a implementação de medidas em cada setor (AFOLU, Energia, Transportes, IPPU, Resíduos e Efluentes).
- Integração Federativa: articulação direta com a Câmara Federativa e com o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), assegurando alinhamento entre políticas estaduais e nacionais.

Monitoramento e Transparência

- Plataforma Estadual de Monitoramento da Descarbonização: sistema digital de MRV (Monitoramento, Relato e Verificação), garantindo dados transparentes, interoperáveis e atualizados em tempo real.
- Indicadores-chave de desempenho (KPIs): definidos para cada medida setorial, permitindo acompanhar o progresso e corrigir desvios de rota.
- Relatórios periódicos de progresso: publicados de forma pública, assegurando accountability perante a sociedade e investidores.

Mecanismos de Engajamento

- Acordos setoriais com metas vinculadas a incentivos fiscais, estimulando adesão voluntária do setor privado.
- Processos de capacitação e assistência técnica para governos municipais, garantindo capilaridade na implementação.
- Espaços de participação social, envolvendo conselhos e fóruns já existentes (como o Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas).

8. Conclusões e Recomendações

O Plano Estadual de Descarbonização da Economia do Paraná (PEDEP) consolida uma estratégia abrangente para guiar o estado rumo à neutralidade climática até 2050, com potencial inclusive de alcançar emissões líquidas negativas. Trata-se de um marco na política

climática subnacional brasileira, alinhado ao Acordo de Paris, à Política Estadual sobre Mudança do Clima (Lei nº 17.133/2012) e às campanhas internacionais Race to Zero e Race to Resilience.

A modelagem de cenários demonstra que, se implementadas integralmente as medidas propostas, o Paraná poderá atingir emissões líquidas negativas de GEE em 2050. O destaque recai sobre o setor AFOLU, que se transforma de maior emissor em sumidouro de carbono, viabilizando a condição de absorvedor líquido. Os setores de Energia, Transportes, IPPU e Resíduos também apresentam trajetórias claras de descarbonização, apoiadas por inovação tecnológica, eficiência produtiva e políticas públicas direcionadas.

Mais do que um plano climático, o PEDEP representa uma estratégia de desenvolvimento econômico sustentável, ao articular mitigação de emissões com:

- modernização da base produtiva,
- atração de investimentos verdes,
- geração de empregos qualificados,
- fortalecimento da competitividade estadual em mercados globais cada vez mais exigentes em termos de pegada de carbono.

Recomendações Estratégicas

Para garantir a efetividade do plano, destacam-se cinco recomendações prioritárias:

- Instituir formalmente o Comitê Gestor Estadual de Descarbonização, com poderes e recursos adequados.
- Regulamentar instrumentos de comando e controle, incluindo critérios climáticos no licenciamento e padrões de eficiência energética.
- Lançar linhas prioritárias de financiamento verde, operadas por Fomento Paraná, BRDE e em articulação com BNDES e fundos internacionais.
- Estabelecer acordos setoriais vinculados a incentivos fiscais e programas de inovação, engajando indústrias, setor agropecuário e municípios.
- Implantar a Plataforma Estadual de MRV, garantindo transparência, dados robustos e credibilidade perante investidores e sociedade.

Consideração Final

O sucesso do PEDEP dependerá de coordenação intersetorial, alinhamento federativo e continuidade política. Se implementado de forma integral, o Paraná poderá se consolidar como referência nacional e internacional em inovação climática, competitividade verde e justiça socioambiental, demonstrando que a descarbonização é não apenas um imperativo ambiental, mas também uma estratégia de futuro para o desenvolvimento econômico e social do estado.

Apresentação

O Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP) constitui um instrumento estratégico do Governo do Estado do Paraná com o objetivo de orientar a transição para uma economia de baixo carbono, resiliente e alinhada com os compromissos climáticos assumidos em âmbito nacional e internacional. O PEDEP está integrado ao Plano de Ação Climática do Paraná (PAC-PR 2024–2050), à Política Estadual sobre Mudança do Clima (Lei nº 17.133/2012) e aos compromissos firmados pelo Estado nas campanhas internacionais Race to Zero e Race to Resilience, promovidas pela Organização das Nações Unidas (ONU).

A formulação do PEDEP foi estruturada com base em etapas analíticas e participativas, incluindo a realização de diagnósticos setoriais, modelagem de cenários de emissões, avaliação e priorização de medidas de mitigação, definição de metas temporais de redução de emissões, análise de barreiras à implementação e proposição de instrumentos econômicos, regulatórios e de monitoramento. O plano cobre os setores de Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU), Energia, Transportes, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) e Resíduos e Efluentes.

As ações e metas propostas visam alcançar emissões líquidas nulas de gases de efeito estufa (GEE) até 2050, conforme delineado no cenário de descarbonização completa. O plano incorpora uma abordagem orientada por evidências técnicas e científicas, contemplando instrumentos de política pública que viabilizem o financiamento, a regulação, o planejamento e a governança da descarbonização no estado.

A elaboração do PEDEP envolveu ampla mobilização técnica, incluindo especialistas de diferentes áreas do conhecimento, representantes do governo estadual, instituições de pesquisa e demais partes interessadas.

O presente documento consolida os produtos técnicos elaborados ao longo do projeto e apresenta de forma integrada os fundamentos, cenários, medidas, metas e estratégias institucionais que nortearão a implementação da política de descarbonização da economia paranaense nas próximas décadas.



Introdução

A intensificação das mudanças climáticas, evidenciada pelo aumento da frequência e severidade de eventos extremos, impõe a necessidade urgente de ações estratégicas em nível subnacional. O Estado do Paraná, ciente de sua responsabilidade e inserido no contexto dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, estruturou o Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP) como resposta concreta aos desafios climáticos e às oportunidades de modernização da base produtiva estadual.

No ano de 2012, o Estado do Paraná instituiu a Política Estadual sobre Mudança do Clima e criou o Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais (Lei nº 17.133/2012), isto com o objetivo de incentivar e implementar ações de controle e redução progressiva das emissões antrópicas por fontes e setores e a remoção por sumidouros, incluindo projetos voltados à geração de créditos de carbono. Em 2021 o Estado através do Decreto nº 8937/2021, aderiu oficialmente às campanhas "Race to Zero" (Corrida para o Zero) e "Race to Resilience" (Corrida para a Resiliência), da ONU, comprometendo-se com a realização de ações visando a neutralização de emissões de gases de efeito estufa até 2050 e com a resiliência climática.

A elaboração do PEDEP insere-se no escopo da Política Estadual sobre Mudança do Clima (Lei nº 17.133/2012), que estabelece como diretrizes a redução progressiva das emissões antrópicas por fontes e o fortalecimento de sumidouros de GEE. O PEDEP está alinhado ao Plano de Ação Climática do Paraná (PAC-PR 2024–2050), que estabelece como uma de suas prioridades a formulação de planos setoriais de descarbonização.

A construção do plano baseou-se em metodologia integrada, que envolveu etapas como a análise do inventário estadual e do cenário atual de emissões do Paraná, a modelagem de cenários de emissões até 2050 e a priorização de soluções tecnológicas, com definição de metas setoriais para cada uma destas medidas priorizadas. O plano foi estruturado com base em articulação intersetorial e na escuta técnica de especialistas do setor público, da academia e da sociedade civil, a fim de garantir robustez técnica, aderência institucional e exequibilidade das ações propostas.

A construção do PEDEP, portanto, fundamenta-se na convergência entre o imperativo climático, os compromissos políticos e as capacidades técnico-institucionais do Estado, estabelecendo as bases para uma transição justa, planejada e monitorável rumo à neutralidade de emissões.

1 Construção do Plano

A construção do PEDEP seguiu uma abordagem metodológica estruturada em múltiplas etapas técnicas e analíticas. Vale ressaltar que a divisão setorial do PEDEP seguiu a mesma lógica adotada pelo Inventário Estadual do Paraná, de modo a facilitar, inclusive, o monitoramento do progresso das metas e medidas propostas.

Esta divisão se deu de acordo com os seguintes setores:

- **Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (da sigla em inglês AFOLU):** O setor AFOLU abrange emissões e remoções de gases de efeito estufa ligadas ao uso da terra, como desmatamento, queimadas, manejo de solos agrícolas e pecuária. Inclui também sumidouros naturais de carbono, como florestas nativas.

- **Processos Industriais e Uso de Produtos (da sigla em inglês IPPU):** IPPU refere-se às emissões que ocorrem durante processos industriais que não estão ligados diretamente à queima de combustíveis, como a fabricação de cimento, aço, vidro e produtos químicos. Também considera os gases liberados pelo uso de produtos com compostos fluorados, como refrigeradores e espumas.

- **Energia:** O setor de Energia cobre todas as emissões provenientes da geração, transformação e uso de energia, sobretudo a partir da queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás. Inclui desde usinas termoelétricas até o consumo de eletricidade e combustíveis em setores residenciais, comerciais e industriais.

- **Transportes:** O setor de Transportes, tradicionalmente considerado como subsetor de energia, engloba as emissões diretas de veículos rodoviários, ferroviários, aéreos e marítimos, tanto de passageiros quanto de cargas. Devido à sua relevância para as emissões do Paraná, ao longo do plano será considerado como um setor separado.

- **Resíduos e Efluentes (RsE):** Esse setor contabiliza as emissões originadas no tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos, industriais e agrícolas, bem como efluentes líquidos. A decomposição de matéria orgânica em aterros e o tratamento de esgoto são fontes comuns de metano (CH_4) e óxidos nitrosos (N_2O), ambos gases de alto potencial de aquecimento global.

A abordagem de construção técnica do plano foi dividida em 2 grandes etapas, sendo elas:

- Assessoria e avaliação dos inventários GEE propostos (ação estruturante);
- Elaboração do Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense.

Para tal, por meio da Resolução Conjunta nº 007/2024, o Governo do Estado do Paraná criou um Grupo de Trabalho (GT) Técnico, constituído por equipes setoriais com técnicos das seguintes secretarias e órgãos do estado: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável (SEDEST); Secretaria de Estado do Planejamento (SEPL); Secretaria de Estado da Fazenda (SEFA); Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB); Secretaria de Estado da Administração e Previdência (SEAP); Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Serviços (SEIC); Instituto Água e Terra (IAT); Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR); Paraná Projetos e Invest Paraná.

Este GT foi responsável por acompanhar o trabalho de construção do Plano ao longo de todo seu desenvolvimento, trazendo questionamentos, sugestões e apontamentos relevantes durante a elaboração de cada produto. Os subprodutos foram apresentados de forma periódica para avaliação, contribuições e aprovação do GT.

1.1 Análise dos inventários e do perfil das emissões do Estado

A primeira etapa consistiu na estruturação dos diagnósticos setoriais, com base nos dados do Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de 2019. Essa base permitiu caracterizar as emissões por setor e identificar os principais vetores emissores do estado.

O objetivo geral desta etapa foi apoiar tecnicamente a análise crítica e validação do inventário de GEE do Estado do Paraná, publicado em 2023 para os anos base 2005 a 2019. Esta avaliação do inventário focou em assegurar a qualidade metodológica e coerência com as diretrizes internacionais.

Através do levantamento das principais fontes de emissão por setor com base no inventário anterior, foi feita uma revisão dos resultados de Escopos 1 e 2 e uma avaliação crítica focada na abrangência e consistência dos dados de entrada (ex: dados de consumo energético, produção industrial, uso do solo etc.). As metodologias de cálculo aplicadas, os Fatores de Emissão utilizados e a adequação dos dados disponíveis também foram analisadas, e foram feitas sugestões de melhorias metodológicas, especialmente para setores com lacunas.

1.2 Elaboração do Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense (PEDEP)

O processo de elaboração do PEDEP foi dividido em 7 fases. Ao longo destas, foram envolvidos especialistas técnicos, bem como o Grupo de Trabalho Técnico, para chegar à priorização mais condizente possível com a realidade do Paraná, de modo a tornar mais eficiente a aplicação do Plano e maximizar seus impactos.

Cada uma destas fases trouxe contribuições importantes para a elaboração final do plano. A metodologia detalhada e os resultados obtidos encontram-se descritos nos produtos específicos que compõem este estudo, nos quais estão reunidas as análises completas e as evidências técnicas pertinentes.

1.2.1 Avaliação de Programas e Ações de Descarbonização em Andamento no Estado do Paraná

O intuito desta análise foi avaliar o andamento dos diferentes programas e ações descritas para o Estado do Paraná. Foram realizadas reuniões com técnicos e especialistas, além do mapeamento de programas e projetos já implementados ou em andamento com interface na redução de GEE. Esse levantamento contemplou a identificação dos principais atores, escopo e abrangência das iniciativas. A partir dessas informações, procedeu-se a uma análise qualitativa e quantitativa quanto à eficácia, cobertura territorial, integração entre ações e sinergia com as metas de descarbonização..

A análise apresentou uma avaliação do andamento de programas e ações constantes em documentos oficiais publicados por diversas instituições do Paraná, com fim de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e/ou absorção de dióxido de carbono (CO2) da atmosfera, no contexto público e privado no estado do Paraná. A avaliação dos programas e ações seguiu a mesma subdivisão dos setores do inventário estadual de emissões de GEE.

1.2.2 Análise Multicritério e Definição de medidas de Descarbonização e metas

A partir da revisão bibliográfica do PAC-PR, foram levantadas e estudadas diversas ações e tecnologias de descarbonização para os setores estudados do Estado do Paraná. A seleção das medidas de descarbonização aplicáveis ao Paraná foi realizada através da Análise Multicritério. Esta análise observa critérios técnicos, ambientais, econômicos e de impacto das possíveis soluções, de modo a selecionar as com melhores combinações de viabilidade técnica, impactos socioambientais e viabilidade econômica. Nesta fase também foram definidas metas iniciais para a construção dos cenários de emissões a partir das medidas aqui priorizadas.

A análise desenvolvida contemplou abordagem multicritério e priorização de soluções tecnológicas, medidas e ações de redução de emissões de GEE nos setores da economia paranaense como; Energia, Transporte, AFOLU, IPPU e Resíduos e Efluentes. Seu objetivo foi entender melhor a abrangência e os benefícios das soluções tecnológicas de baixo carbono que podem ser aplicadas no contexto do plano de descarbonização estadual e priorizar aquelas com maior adequação.

1.2.3 Modelagem de Cenários (Referência e Net-Zero)

A terceira fase compreendeu a modelagem de cenários de emissões até 2050, elaborando duas trajetórias distintas: (i) Cenário de Linha de Base (BAU), (ii) Cenário *Net Zero*. A modelagem incorporou dados de crescimento populacional, projeções econômicas, perfis setoriais, benchmarking nacional e internacional, e análises de custo marginal de abatimento (MACC)

por setor. A partir da modelagem de emissão de GEE em diferentes condições, denominadas como cenários, estimou-se a contribuição de cada tecnologia ou medida de descarbonização na trajetória da neutralidade das emissões de carbono no estado.

O principal objetivo desta fase foi apresentar trajetórias de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o Estado do Paraná até 2050, considerando os cenários de Referência (adotando a linha de base atual do Paraná) e *Net Zero* (neutralidade climática). A proposta está inserida no contexto da Política Estadual de Mudanças Climáticas e do compromisso com as campanhas "Race to Zero" e "Race to Resilience". O propósito foi oferecer uma avaliação fundamentada da viabilidade e do impacto de diferentes medidas de mitigação, considerando fatores como custo, potencial de redução e alinhamento com as metas climáticas.

A análise utilizou modelagens integradas baseadas em dados históricos, dados de ações existentes, projeções macroeconômicas e tecnológicas, e curvas de custo marginal de abatimento (MACC) por setor.

1.2.4 Apresentação de Metas e Planos de Ação

Esta fase teve como objetivo apresentar as metas das medidas de descarbonização e neutralização das emissões de GEE dos setores da economia do Paraná priorizadas na modelagem do Cenário *Net Zero* para 2050, além de apresentar as ações para apoiar a implementação de tais medidas e estratégias de descarbonização do estado. O documento produzido buscou traduzir os cenários de mitigação previamente modelados em metas setoriais concretas e operacionalizáveis, com prazos e indicadores específicos.

A proposta visa orientar o poder público, o setor produtivo e demais atores sociais na tomada de decisão, com foco na coerência política, articulação interinstitucional e maximização de cobenefícios sociais, ambientais e econômicos.

1.2.5 Análise de Limitações e Desafios das Medidas de Descarbonização Selecionadas

Esta fase teve como objetivo apresentar a análise de limitações de cada uma das medidas selecionadas, bem como propostas de ações de superação para tais barreiras, de modo a garantir que as metas de descarbonização do estado do Paraná sejam realistas e atingíveis. Instrumentos existentes também foram considerados ao longo desta avaliação. A identificação dos potenciais de cada estratégia ajudou a direcionar os esforços para as áreas com maior probabilidade de sucesso, maximizando os benefícios das ações de descarbonização.

1.2.6 Monitoramento e Indicadores

O objetivo dessa etapa foi propor instrumentos para monitoramento, reporte e verificação do cumprimento das medidas de descarbonização setoriais, apontando os devidos indicadores e as fontes de informação para sua aferição, que deveão ser publicizados e, se necessário, as estratégias e ações propostas revistas e readequadas.

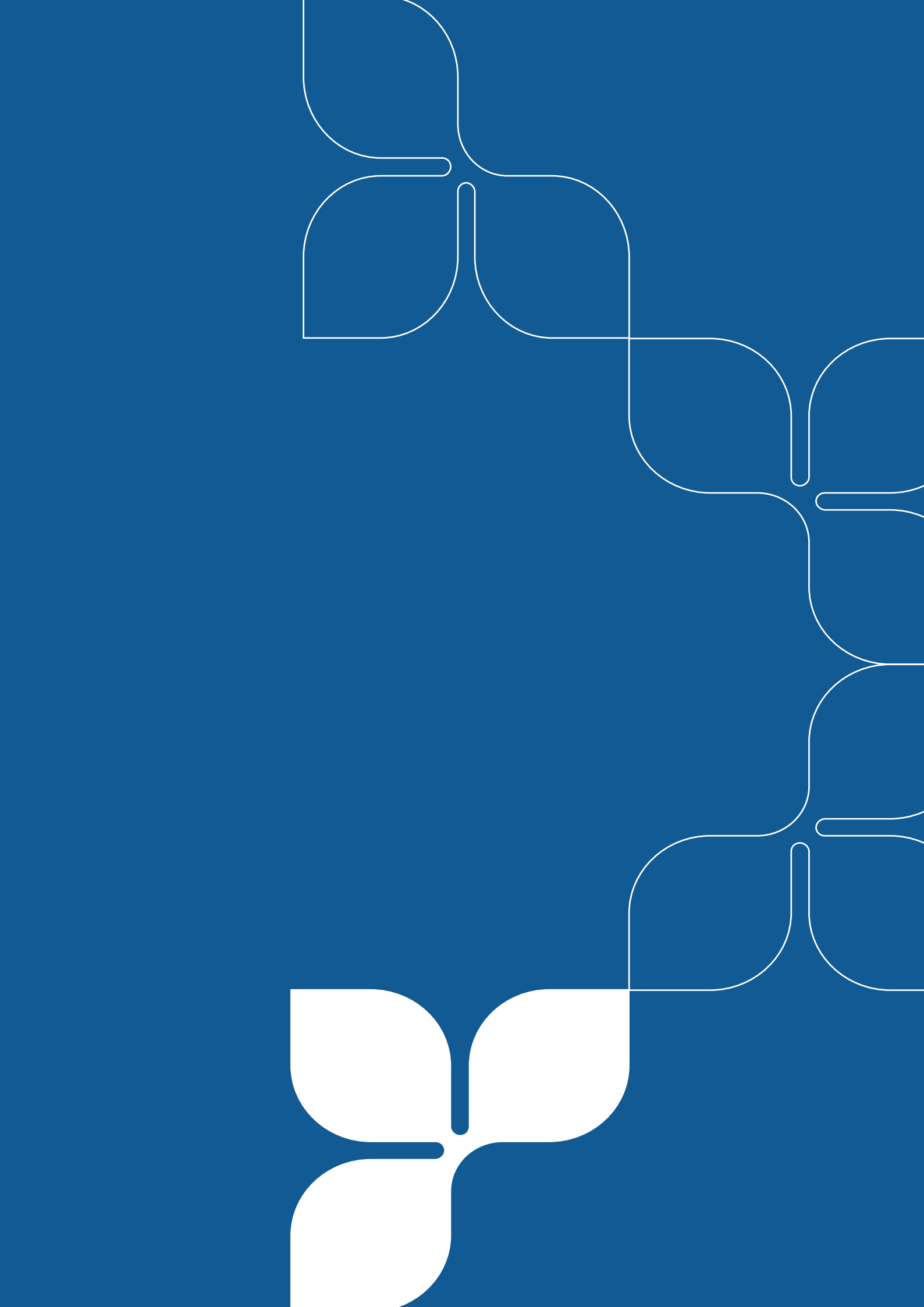
O principal objetivo desta fase foi estabelecer um sistema de monitoramento robusto para acompanhar a implementação do PEDEP, garantindo o acompanhamento contínuo das metas climáticas do estado até 2050. O documento elaborado definiu indicadores estratégicos para mensurar o progresso em termos de redução de emissões de GEE, adoção de políticas públicas, investimentos e impactos socioambientais. Com a estruturação de um plano de monitoramento contínuo da execução e do impacto das ações e proposta de ciclos de avaliação periódica, com mecanismos de revisão de metas e estratégias, o foco está em assegurar transparência, coerência com os marcos regulatórios e capacidade de retroalimentar o planejamento com base em dados objetivos.

1.2.7 Proposição de Instrumentos de Política Pública

Esta fase teve como intuito organizar a infraestrutura institucional e normativa necessária para transformar as medidas tecnológicas priorizadas pelo PEDEP em ações operacionais viáveis no território. Dessa forma, desta fase foram fornecidos os instrumentos habilitadores para cada uma das metas setoriais estabelecidas

Ao longo do estudo, foram desenvolvidas fichas técnicas de iniciativas estruturantes que estabelecem:

- Instrumento de política pública mais adequado para cada medida (comando e controle, econômico-financeiro, gestão, planejamento, etc.);
- As esferas de competência (estadual, federal, municipal);
- A vinculação direta com medidas de descarbonização setoriais, permitindo uma visão integrada entre tecnologia, regulação e política pública;
- Os prazos de implementação e o grau de maturidade institucional.



Diagnóstico e Elaboração da Descarbonização

O PEDEP parte de um diagnóstico detalhado das emissões de gases de efeito estufa do Paraná com base no Inventário Estadual de 2019, integrando dados socioeconômicos, setoriais e territoriais para estruturar medidas compatíveis com a realidade local. O estado destaca-se por seu forte perfil agroexportador e industrial, sendo o setor de AFOLU responsável por 54% das emissões líquidas, seguido pelos setores de energia (36%), transportes, resíduos e efluentes e processos industriais. Particularmente, a fermentação entérica, a conversão de uso da terra e o transporte rodoviário respondem juntos por mais da metade das emissões totais. Esse perfil evidencia a necessidade de uma abordagem setorial diferenciada e adaptada às dinâmicas regionais, sobretudo considerando as vulnerabilidades climáticas do estado — como estiagens no Noroeste, alagamentos no centro e enxurradas no Oeste — que impõem riscos à segurança alimentar, energética e hídrica.

Com base nesse diagnóstico, a construção do plano foi orientada por uma análise multicritério que envolveu especialistas, representantes governamentais e consultas técnicas setoriais. A abordagem priorizou, inicialmente, 61 medidas de descarbonização, organizadas segundo critérios técnicos, ambientais, econômicos e político-institucionais, que permitiram hierarquizar as soluções mais viáveis e impactantes. Essas medidas foram distribuídas entre os setores-chave: AFOLU, Energia, Transportes, IPPU, e Resíduos e Efluentes. A metodologia de priorização incluiu etapas como avaliação de custo-benefício, maturidade tecnológica, sinergia com políticas públicas existentes e impactos sociais, assegurando um processo decisório fundamentado e transparente.



2 Caracterização do Estado

A caracterização do Estado do Paraná no contexto do PEDEP visa contextualizar os principais aspectos socioeconômicos, territoriais e ambientais que influenciam as emissões de gases de efeito estufa e a vulnerabilidade climática estadual.

O Paraná é um dos estados mais industrializados e agroexportadores do Brasil, apresentando relevância nos setores agrícola, florestal, industrial e energético. Em 2019, o estado possuía uma população estimada de aproximadamente 11,5 milhões de habitantes e um Produto Interno Bruto (PIB) de R$ 487 bilhões, sendo o quinto maior do país em termos absolutos.

A distribuição da atividade econômica no território paranaense é marcada pela concentração agropecuária nas regiões oeste e norte, e pela presença de polos industriais relevantes nas regiões leste (Curitiba e Região Metropolitana), centro-sul e sudoeste. O setor de AFOLU respondeu pela maior parte das emissões líquidas do estado em 2019, aproximadamente 54%, sendo o maior contribuinte, seguido pelos setores de energia (36%), resíduos e efluentes (5%) e processos industriais e uso de produtos com 5%. De forma ainda mais especificada, as subatividades que mais contribuíram para as emissões de GEE do Paraná foram o transporte rodoviário, liderando com cerca de 28%, seguido pela fermentação entérica com cerca de 22%, e a mudança do uso da terra com cerca de 12%.

No que diz respeito à vulnerabilidade climática, ela varia de acordo com regiões do estado. Enquanto o noroeste do estado é mais afetado por secas e estiagens, o centro apresenta maior incidência de alagamentos, e o Oeste tem destaque para enxurradas. A região noroeste do Paraná é ainda uma das áreas mais críticas em termos de recorrência de desastres naturais relacionados ao clima, com eventos que incluem estiagens, secas, enxurradas, alagamentos e granizo, afetando diretamente a produção agropecuária, o abastecimento de água, a integridade de infraestruturas básicas e a segurança das comunidades locais.

3 Medidas de Descarbonização (Análise Multicritério e Priorização)

A identificação e seleção das medidas de descarbonização para o Estado do Paraná foi conduzida com base em uma abordagem multicritério, fundamentada na análise técnica, econômica, ambiental e institucional de soluções tecnológicas de baixo carbono aplicáveis aos setores-chave de emissões: AFOLU, Energia, Transportes, IPPU e Resíduos e Efluentes.

A metodologia adotada para priorizar as soluções tecnológicas de baixo carbono no Paraná combinou pesquisa documental, consultas técnicas e avaliações estruturadas. Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico de literatura técnica e científica nacional e internacional, seguido por consultas estruturadas e semiestruturadas com especialistas do Grupo de Trabalho (GT) estadual. Essas contribuições permitiram validar e complementar a seleção inicial de tecnologias, com base em critérios previamente estabelecidos. Em paralelo, foram conduzidas análises técnicas, ambientais, socioeconômicas e político-institucionais das medidas, considerando custos, benefícios, maturidade tecnológica, impactos sociais e ambientais, e alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A espinha dorsal da abordagem foi a Análise Multicritério, estruturada em seis etapas sequenciais:

1. Definição de critérios e subcritérios (como potencial de mitigação, custo, impactos positivos e viabilidade política);
2. Atribuição de pesos aos critérios a partir de rankings fornecidos por especialistas;
3. Desenvolvimento de uma escala uniforme de pontuação de 1 a 10;
4. Avaliação de desempenho das alternativas conforme os subcritérios;
5. Cálculo das pontuações ponderadas por critério; e
6. Comparação das alternativas com base na pontuação final, permitindo a seleção e hierarquização das medidas mais promissoras.

3.1 Priorização Setorial

Inicialmente foram priorizadas 61 medidas de descarbonização no Paraná, distribuídas entre os setores. A priorização baseou-se em critérios técnicos, ambientais, socioeconômicos e político-institucionais, e as medidas mais relevantes foram destacadas por sua viabilidade, impacto mitigador de emissões e alinhamento com políticas públicas e instrumentos existentes no estado.

Foram separados quatro grandes grupos de critérios, cada um subdividido em quatro subcritérios, totalizando 16 subcritérios:

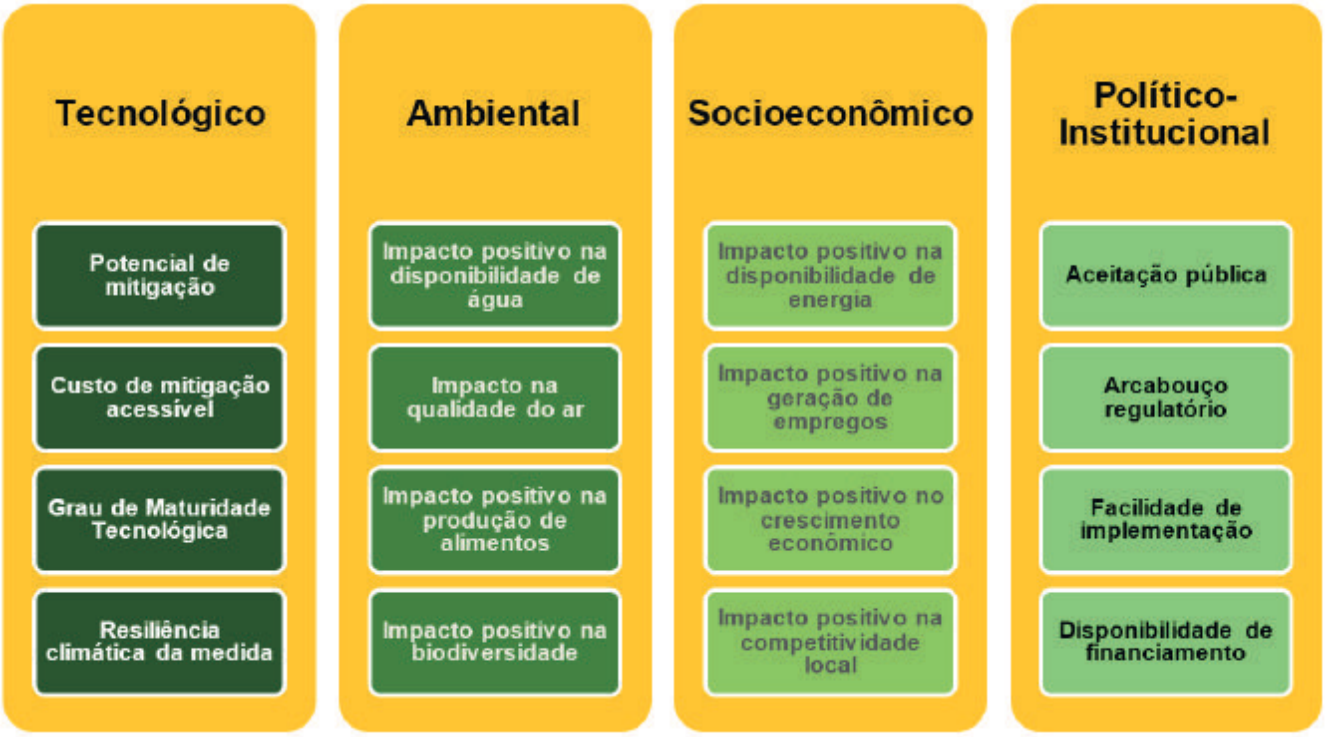


Figura 4 - Critérios e Subcritérios

Essa abordagem permitiu a identificação de medidas de alto impacto e exequibilidade, orientando gestores públicos e privados na alocação estratégica de esforços e recursos. A priorização também considerou a escalabilidade territorial, sinergias com programas estaduais (como o Plano ABC+ e o RenovaPR) e o potencial de contribuição para a meta de neutralidade de carbono até 2050.

Esse processo resultou em uma lista de 50 medidas selecionadas e distribuídas pelos setores levando em conta não apenas o impacto ambiental, mas também fatores como custo, viabilidade, aceitação social e maturidade tecnológica. A abordagem assegura uma decisão estratégica baseada em evidências, equilibrando impacto e exequibilidade no contexto paranaense.

4 Modelagem de Cenários

A modelagem de cenários de emissões de gases de efeito estufa (GEE) constitui a base estratégica para o planejamento da descarbonização no Estado do Paraná. Foram projetadas trajetórias de emissões até o ano de 2050 a partir de dois cenários principais:

1. **Cenário de Referência:** projeta a evolução das emissões até 2050 com base em uma perspectiva tendencial, considerando exclusivamente as políticas e medidas de redução de emissões já adotadas e atualmente em vigor. Este cenário permite avaliar como se comportariam as emissões do Paraná na ausência de novas intervenções substanciais, assumindo a continuidade das condições econômicas e tecnológicas vigentes.
2. **Cenário Net Zero:** representa uma trajetória altamente ambiciosa para as emissões estaduais, orientada explicitamente para alcançar a neutralidade de emissões líquidas até 2050, em conformidade com o Decreto Estadual nº 8.937/2021. Este cenário considera a implementação de políticas e medidas de mitigação mais profundas e abrangentes, contemplando tecnologias avançadas e mudanças estruturais significativas. Busca refletir o esforço máximo necessário para o Paraná atingir a neutralidade de emissões, evidenciando os custos e desafios envolvidos nessa transição.

4.1 Metodologia e Premissas

A seleção de premissas de evolução da demografia e economia Paranaense constitui o Cenário Macroeconômico e Demográfico de Referência para este estudo. Esse conjunto de premissas foi validado pelo Governo do Estado do Paraná para servir de base específica para as análises elaboradas. Foram utilizados como base o Inventário Estadual de Emissões de 2019 e incorporou projeções de crescimento populacional, PIB, PIB per capita, preço de Barril de Petróleo e taxa de câmbio.

A modelagem foi construída a partir de dados de níveis de atividade econômica e intensidade de carbono setorial, projeções de demanda de energia e matriz energética, taxas de adoção

tecnológica, potenciais de abatimento de emissões das soluções priorizadas, e premissas regulatórias e políticas públicas. Foram também adotadas premissas setoriais para a elaboração da modelagem.

4.1.1 AFOLU

As premissas do setor AFOLU partem do reconhecimento da centralidade da agropecuária na economia paranaense, e da forte correlação entre uso da terra, emissões de GEE e segurança alimentar. No cenário de referência, assume-se a continuidade das práticas atuais, com expansão da fronteira agropecuária baseada na intensificação do uso de pastagens e pouca adoção de tecnologias de baixo carbono. Já no cenário Net Zero, pressupõe-se a disseminação progressiva de práticas sustentáveis, como sistemas agroflorestais, plantio direto, manejo adequado de fertilizantes, recuperação de pastagens degradadas e reflorestamento com espécies nativas. Além disso, considera-se a eliminação gradual do desmatamento ilegal até 2035 e a adoção de tecnologias de precisão para a gestão de nutrientes e emissões entéricas. Todas essas medidas partem da premissa de políticas públicas de incentivo, assistência técnica rural e valorização do crédito de carbono rural.

4.1.2 Energia

A modelagem do setor de energia foi construída sobre um conjunto robusto de premissas econômicas, tecnológicas e estruturais. Em todos os cenários, considera-se um crescimento médio anual do PIB de 2,7% e uma população estável até 2050, o que implica aumento da demanda elétrica per capita. No cenário de referência, projeta-se a continuidade da matriz elétrica atual, com alta dependência de hidrelétricas e expansão tímida de fontes alternativas. Já o cenário Net Zero assume:

- Substituição progressiva do gás natural por biogás, biometano e biomassa;
- Expansão de tecnologias de cogeração com bagaço de cana;
- Investimentos massivos em eficiência energética, via troca de equipamentos antigos por sistemas eficientes;
- Produção crescente de hidrogênio verde a partir de biogás e fontes renováveis e
- Avanço significativo da produção e uso de biocombustíveis avançados.

Essas premissas implicam políticas de fomento à inovação, integração com o setor agrícola e expansão de infraestrutura para transporte e uso de vetores energéticos alternativos (biometano, hidrogênio).

4.1.3 Transportes

Para o setor de transportes, a modelagem parte da premissa de crescimento da frota veicular proporcional ao aumento da renda per capita, especialmente no transporte individual urbano. No cenário de referência, o modelo rodoviário baseado em combustíveis fósseis se mantém dominante, com pouco avanço em modais coletivos ou alternativos. Já o cenário de descarbonização assume:

- Eletrificação progressiva da frota leve e do transporte público;
- Substituição de ônibus a diesel por veículos movidos a biometano;
- Reativação e ampliação da malha ferroviária, especialmente com a Nova Ferroeste;
- Investimentos em infraestrutura cicloviária e incentivo à mobilidade ativa e
- Políticas de priorização do transporte coletivo nos grandes centros urbanos.

Essas premissas consideram o avanço tecnológico de baterias e veículos elétricos, disponibilidade de biocombustíveis, e a aplicação de instrumentos como zonas de baixa emissão, subsídios à conversão de frotas públicas e políticas de uso do solo integradas à mobilidade urbana

4.1.4 IPPU

As premissas para o setor IPPU se baseiam na tendência de crescimento moderado da indústria mineral e química no Paraná, com foco em cimento, cal, aço, amônia e metanol.

O cenário de referência considera a manutenção das taxas atuais de substituição clínquer/cimento, uso constante de coque como combustível e pouca inovação tecnológica nos processos industriais. Em contraste, o cenário *Net Zero* assume a adoção em larga escala de tecnologias de ponta, como captura e armazenamento de carbono (CCUS), reformulação de processos de clinquerização com via seca e o uso de matérias-primas alternativas com menor intensidade de carbono.

Essas tecnologias, por serem mais custosas, dependem de mecanismos de precificação de carbono, financiamento climático, e alinhamento regulatório com a futura Política Nacional de Comércio de Emissões.

4.1.5 Resíduos e Efluentes

O setor de resíduos e efluentes assume, no cenário de referência, a manutenção de práticas atuais, com cobertura limitada de coleta seletiva e alta dependência de aterros sanitários – e, em áreas mais vulneráveis, ainda a existência de lixões. No cenário *Net Zero*, as premissas incluem:

- Encerramento total dos lixões até 2030;
- Universalização da coleta e tratamento de efluentes urbanos até 2040;

- Estímulo à valorização de resíduos e economia circular.
- Aproveitamento energético do biogás gerado em aterros e estações de tratamento;
- Estímulo à valorização de resíduos e economia circular.

A premissa é que as mudanças não virão apenas da regulação ambiental, mas também do avanço da logística reversa, investimentos em infraestrutura e incentivos fiscais à cadeia de reciclagem e ao uso energético de resíduos orgânicos e industriais.

4.2 Resultados

A tabela a seguir apresenta os resultados consolidados das emissões de GEE em 2050 por setor para cada um dos cenários de descarbonização desenvolvidos no estudo. Para cada setor, são indicados os valores absolutos de emissões em megatoneladas de CO_2 equivalente ($MtCO_2e$), bem como a variação percentual de emissões em relação ao Cenário de Referência — ou seja, o grau de abatimento obtido nos cenários de mitigação.

Tabela 1 - Síntese das emissões dos cenários em 2050, por setor (MtCO2e)

Setor	Emissões Cenário Referência	Cenário *Net Zero*	
		Emissões	Variação
AFOLU	-10,06	-27,22	170,40%
Energia	10,66	1,04	90,20%
Transportes	31,86	14,85	53,40%
IPPU	10,65	6,26	41,20%
Resíduos	5,9	2,31	60,80%
Total	49	-2,75	

No setor AFOLU, observa-se um aumento expressivo no papel de sumidouro líquido de carbono no cenário de mitigação. As emissões negativas passam de -10,06 $MtCO_2e$ no Cenário de Referência para -27,22 $MtCO_2e$ no Cenário Net Zero, o que representa um incremento de 170,4% na capacidade de sequestro líquido de emissões. Esse resultado evidencia a centralidade de medidas deste setor para garantir a neutralidade de emissões do estado.

O setor de Energia apresenta redução de emissões de 90,2% no Cenário Net Zero, em relação ao referencial de 10,66 $MtCO_2e$. Para o setor IPPU, os avanços são mais moderados. As emissões caem de 10,65 $MtCO_2e$ para 6,26 $MtCO_2e$ no Net Zero (abatimento de 41,2%). Em Resíduos, há redução significativa: as emissões são reduzidas em 60,8% no Net Zero, comparativamente ao valor de 5,90 $MtCO_2e$ do Cenário de Referência. Já o setor de Transportes, que parte de um patamar elevado (31,86 $MtCO_2e$), apresenta uma redução de 53,4% no Net Zero.

No consolidado total das emissões líquidas do Estado, observa-se uma redução substancial de 51,75 $MtCO_2e$ no Cenário Net Zero, em relação ao Cenário de Referência. O Cenário Net Zero, portanto, não apenas neutraliza as emissões líquidas como atinge um saldo negativo, apontando para a viabilidade de um Estado carbono-negativo até 2050.

É possível observar, pelo gráfico a seguir, estas variações nas emissões por cenários. O gráfico demonstra redução das emissões em 2050 de acordo com os cenários, sendo as emissões no Cenário Referência as maiores, seguidas pelo Cenário NDC e, com as menores emissões, o Cenário Net Zero. Os dados estão organizados por setor — AFOLU, Energia, IPPU, Resíduos e Efluentes e Transportes — além da soma total das emissões, possibilitando a avaliação do impacto agregado das medidas de mitigação propostas, e é notável a diferença nas emissões totais entre os 3 cenários.

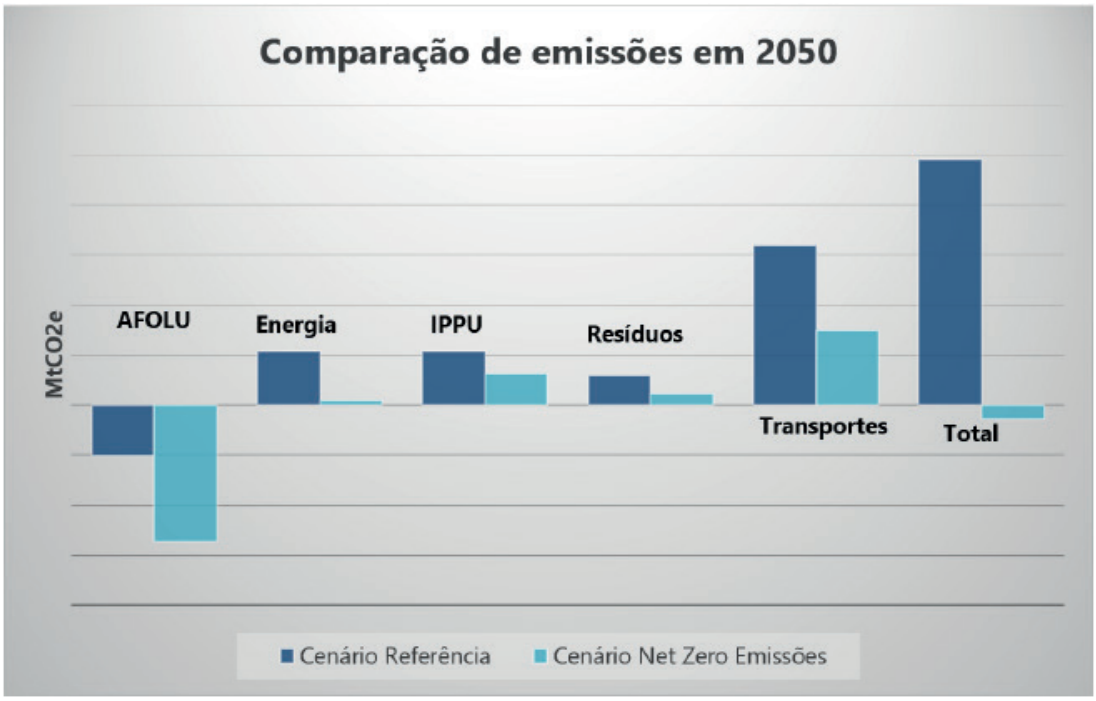


Figura 5 – Gráfico de comparação de emissões entre os cenários propostos no ano de 2050 (em MtCO2e)

Observa-se que o setor de AFOLU (Agricultura, Florestas e Uso da Terra) se destaca como principal sumidouro líquido de carbono e, no Cenário *Net Zero*, o setor apresenta emissões negativas de 27,22 $MtCO_2e$, refletindo a implementação de medidas robustas. Esse desempenho é decisivo para compensar emissões remanescentes de outros setores.

A soma total das emissões reforça os contrastes entre os cenários:

- No Cenário de Referência, as emissões totais ultrapassam os 30 $MtCO_2e$, atingindo 49 MtCO2e;
- No Cenário *Net Zero*, o Estado do Paraná alcança emissões líquidas negativas, graças sobretudo ao desempenho do setor AFOLU, o que indica a viabilidade técnica de alcançar a neutralidade climática até 2050, desde que medidas estruturais e intersetoriais sejam implementadas de forma integrada e ambiciosa.

Os gráficos a seguir apresentam a evolução do agregado das emissões em cada um dos cenários. Nota-se que, a partir das medidas propostas no Cenário *Net Zero*, as remoções do estado ultrapassam suas emissões.

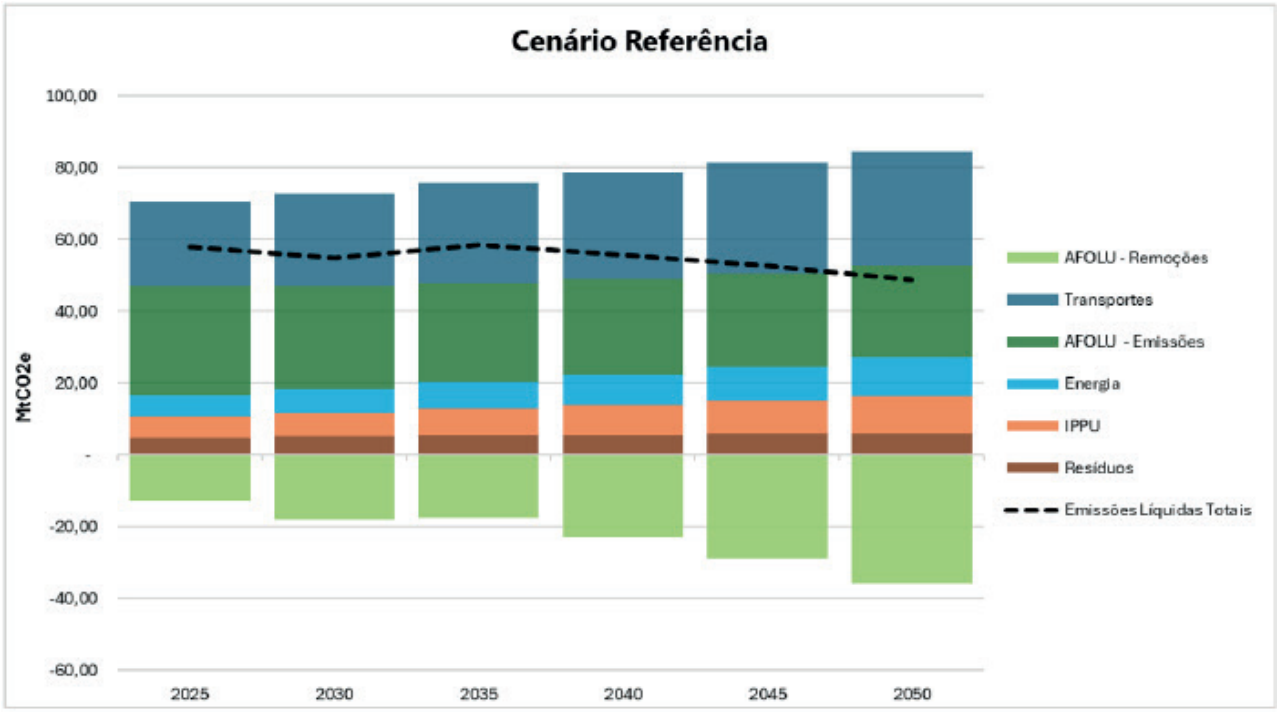


Figura 6 – Contribuição dos setores para evolução das emissões de 2025 a 2050 no Cenário Referência (MtCO2e)

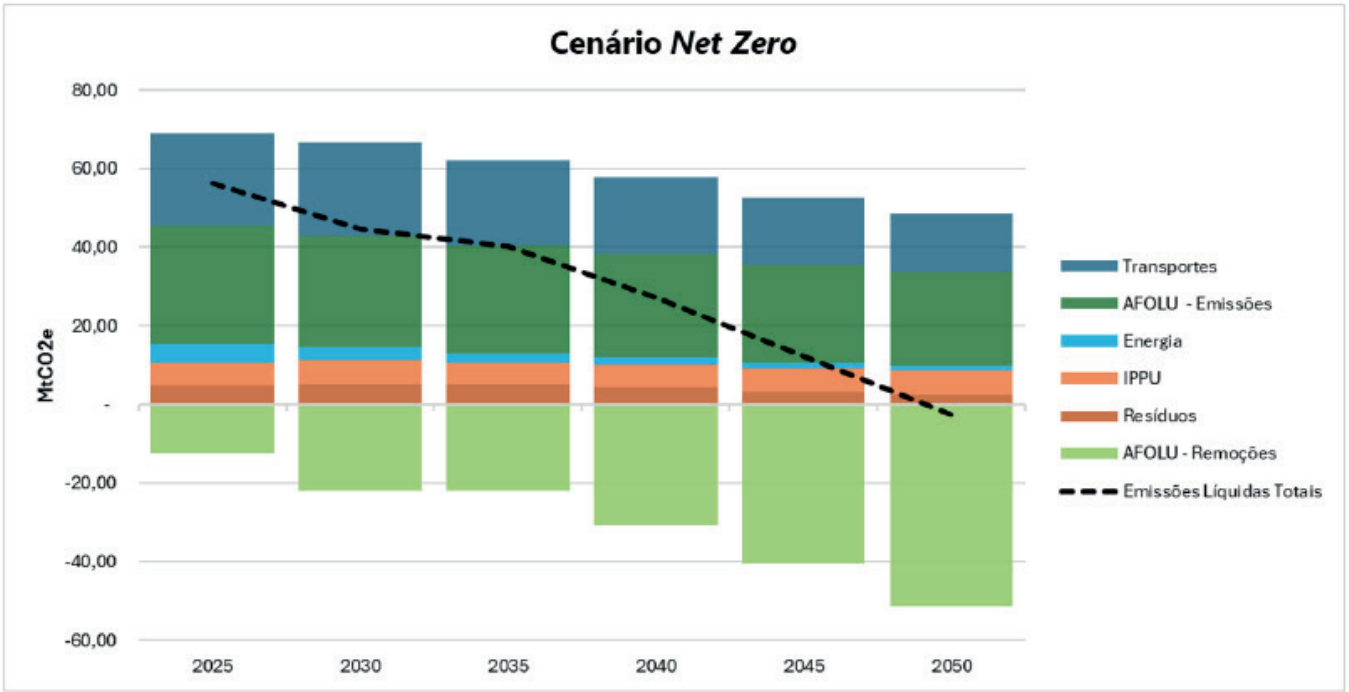


Figura 7 – Contribuição dos setores para evolução das emissões de 2025 a 2050 no Cenário Net Zero (MtCO2e)

A análise das Curvas de Custo Marginal de Abatimento (CMA) revela um ponto de equilíbrio importante: o custo marginal de abatimento que se iguala ao preço do carbono ou ao benefício social da redução de emissões[1]. Esse ponto ajuda a determinar o limite econômico para a implementação das medidas, sendo essencial para a definição de políticas públicas e estratégias de investimento. Além disso, a curva também destaca áreas onde a inovação tecnológica ou incentivos financeiros podem reduzir custos e ampliar o potencial de mitigação. A seguir são apresentadas as curvas para cada setor.

4.2.1 AFOLU

O cenário *Net Zero* para o setor apresentou uma redução acumulada de 155 $MtCO_2e$ até 2050. A curva CMA reforça as áreas de silvicultura como determinantes para descarbonização do Estado. Inicialmente, destaca-se que a medida relacionada à recuperação de pastagens em solos degradados e mantidas como pastagens não consta na curva CMA, pois a tecnologia é mais representativa em área no cenário de referência.

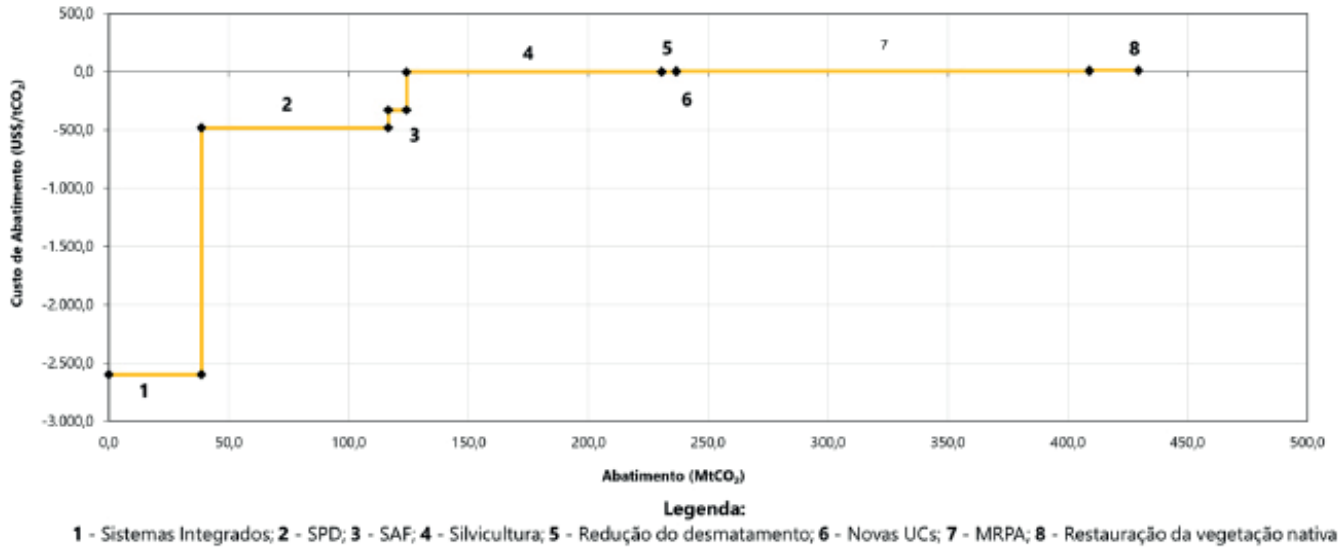


Figura 8 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra.

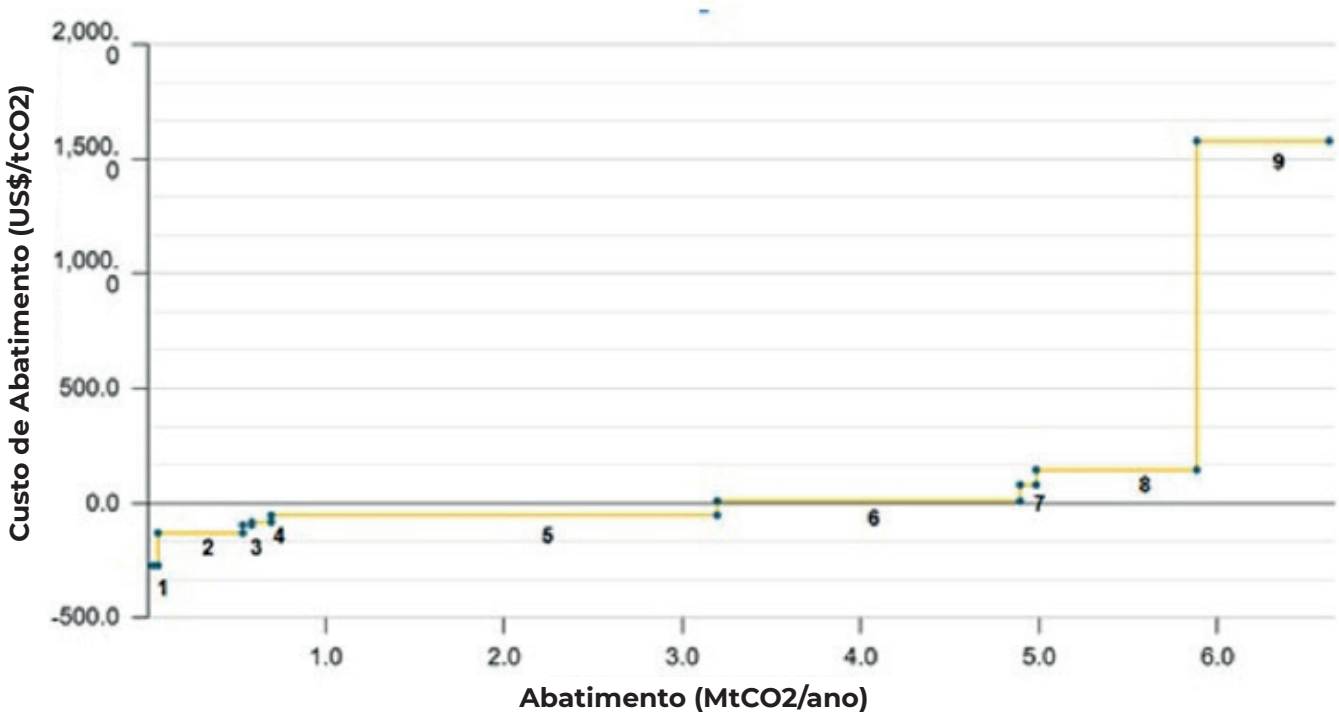
Legenda: SAF - Sistemas Agroflorestais; SPD - Sistemas de Plantio Direto de Grãos, MRPA - Manejo de Resíduos da Produção Animal, UCs: Unidades de Conservação.

A Curva de CMA demonstra o potencial de remoção de carbono no cenário *Net Zero*, além do custo de abatimento. A remoção por silvicultura é a medida de descarbonização que apresenta a maior quantidade de tCO2 mitigado ao longo do período de vigência, que também se justifica pela penetração da medida ao longo do período de vigência do PEDEP. Por fim, concluiu-se que as medidas relacionadas à agricultura de baixa emissão de carbono, como sistemas integrados, sistemas de plantio direto e silvicultura apresentam as melhores condições para implementação, considerando o potencial de abatimento de carbono e custos associados.

[1] *Um custo marginal de abatimento de carbono de valor negativo significa que a redução de uma unidade adicional de emissão de carbono produz um benefício financeiro, ou seja, a implementação da medida de redução de emissões de GEE economiza dinheiro ou até mesmo gera lucro.*

4.2.2 Energia

O cenário *Net Zero* apresenta 75% de redução até 2050, com abatimento de 162 $MtCO_2e$. A CMA do setor evidencia que as medidas com custos mais baixos, como a expansão da geração a biogás e biomassa, oferecem oportunidades imediatas para reduções significativas de emissões. Já as medidas com custos mais elevados, como a produção de hidrogênio renovável, são fundamentais para alcançar a neutralidade de carbono, mas exigem investimentos adicionais e políticas de incentivo.



1. *Subst. equip. antigos por sist. eficientes*
2. *Aum. prod. biogás c/ resíduos animais*
3. *Exp. ger. elétria a biogás/biometano*
4. *Impl. tecnol. de ponta em processos ind.*
5. *Exp. ger. a biomassa + coger. c/ bagaço*
6. *Prod. biocombu. e combust. renováveis*
7. *Aprov. resíduos ind. p/ energia*
8. *Proc. biometano em UGH*
9. *Aum. prod. hidrogênio renovável*

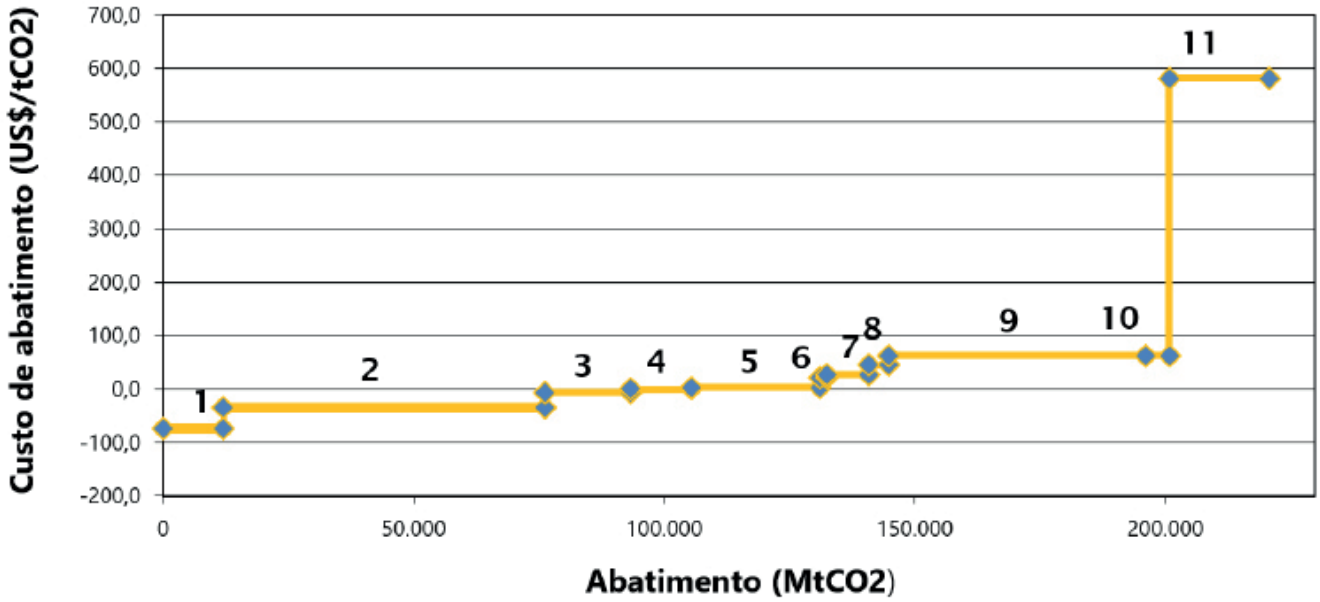
Figura 9 - Curva do Custo Marginal de Abatimento do setor de Energia

4.2.3 Transportes

No cenário de referência, as emissões totais de CO2e aumentam de forma constante ao longo dos anos, partindo de 13,5 Mt em 2005 e atingindo 31,8 Mt em 2050. Esse crescimento reflete uma tendência de aumento das emissões sem a implementação de medidas significativas de mitigação. Neste cenário, o transporte por passageiros responderá por 30% das emissões de Transportes ao final do horizonte, representando uma redução de 4% na participação frente ao ano de 2024. A redução decorre do aumento da participação renováveis no transporte individual motorizado (eletricidade, etanol anidro e hidratado), bem como o coletivo (eletricidade e biodiesel). Além disso, a mistura de SAF no querosene de aviação reduz levemente a intensidade de carbono do transporte aéreo.

Na outra vertente, o cenário *Net Zero* mostra mitigações graduais e acentuadas. As emissões totais em 2050 caem para 14,8 Mt, representando uma redução de 53% em relação ao cenário de referência. O transporte rodoviário, maior contribuinte para as emissões no Estado do Paraná, apresenta reduções significativas no cenário *Net Zero*.

Essa redução significativa reflete a adoção de medidas mais ambiciosas, como a maior participação de biocombustíveis avançados (20% de Diesel Verde e SAF no Diesel mineral e Querosene, respectivamente, bem como 25% de Biodiesel no Diesel mineral). Além disso, o cenário *Net Zero* mostra uma maior penetração de veículos elétricos e híbridos flex (consumindo majoritariamente etanol hidratado), atingindo em conjunto 100% dos licenciamentos[2] em 2050. No caso dos veículos pesados (ônibus e caminhões urbanos), a participação nos licenciamentos atinge 75%. Isso gera um menor uso de combustíveis fósseis, como o Diesel e a Gasolina Automotiva, substituídos por essas alternativas mais sustentáveis.



1- *Transporte Ativo;*

2- *Promover o uso de biocombustíveis - etanol;*

3 - *Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão - individual;*

4 - *Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC);*

5 - *Promover o uso de biocombustíveis - biodiesel;*

6 - *Promover o uso de biocombustíveis - biometano;*

7 - *Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo);*

8 - *Promover o uso do transporte aquático;*

9 - *Promover o uso de biocombustíveis avançados - Diesel verde;*

10 - *Promover o uso de biocombustíveis avançados - SAF;*

11 - *Promover o uso do transporte ferroviário*

Figura 10 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de Transportes

4.2.4 IPPU

O cenário *Net Zero* apresenta redução de 41%, totalizando 6,26 $MtCO_2e$ em 2050. Medidas como sistemas de controle avançado, preaquecimento da sucata e queimadores oxy-fuel possuem custos negativos, indicando que sua implementação gera ganhos econômicos

[2] *Embora neste cenário 100% dos novos licenciamentos em 2050 sejam de veículos elétricos e híbridos, a frota circulante ainda contará com veículos a combustão, resultando em consumo residual de combustíveis fósseis.*

além da redução de emissões. Tecnologias intermediárias, como adição de carboneto de escória e melhorias no sistema de combustão para cimento, apresentam custos moderados e viabilidade técnica consolidada. Já as opções de CCUS para cimento, química e cal, além do processo por via seca com múltiplos estágios de pré-aquecedores e pré-calcinadores, possuem os maiores custos, refletindo desafios tecnológicos e necessidade de incentivos financeiros para sua adoção em larga escala.

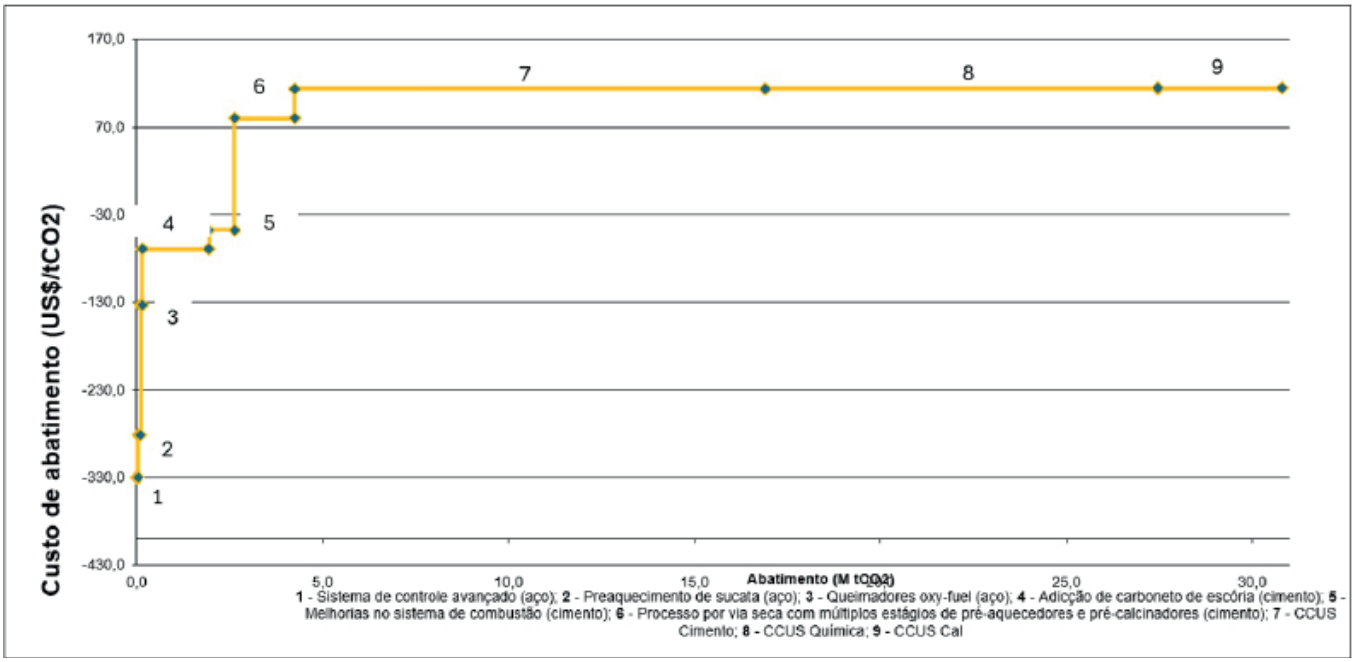
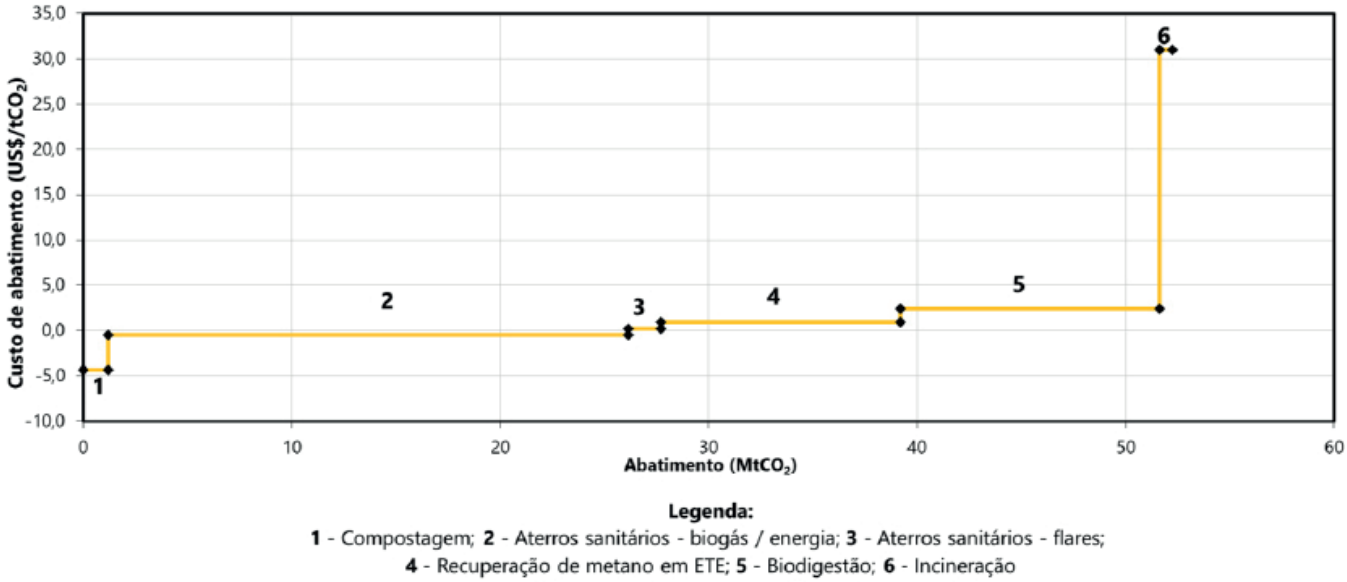


Figura 11 – Curva de Custo Marginal de Abatimento do setor de IPPU

4.2.5 Resíduos e Efluentes

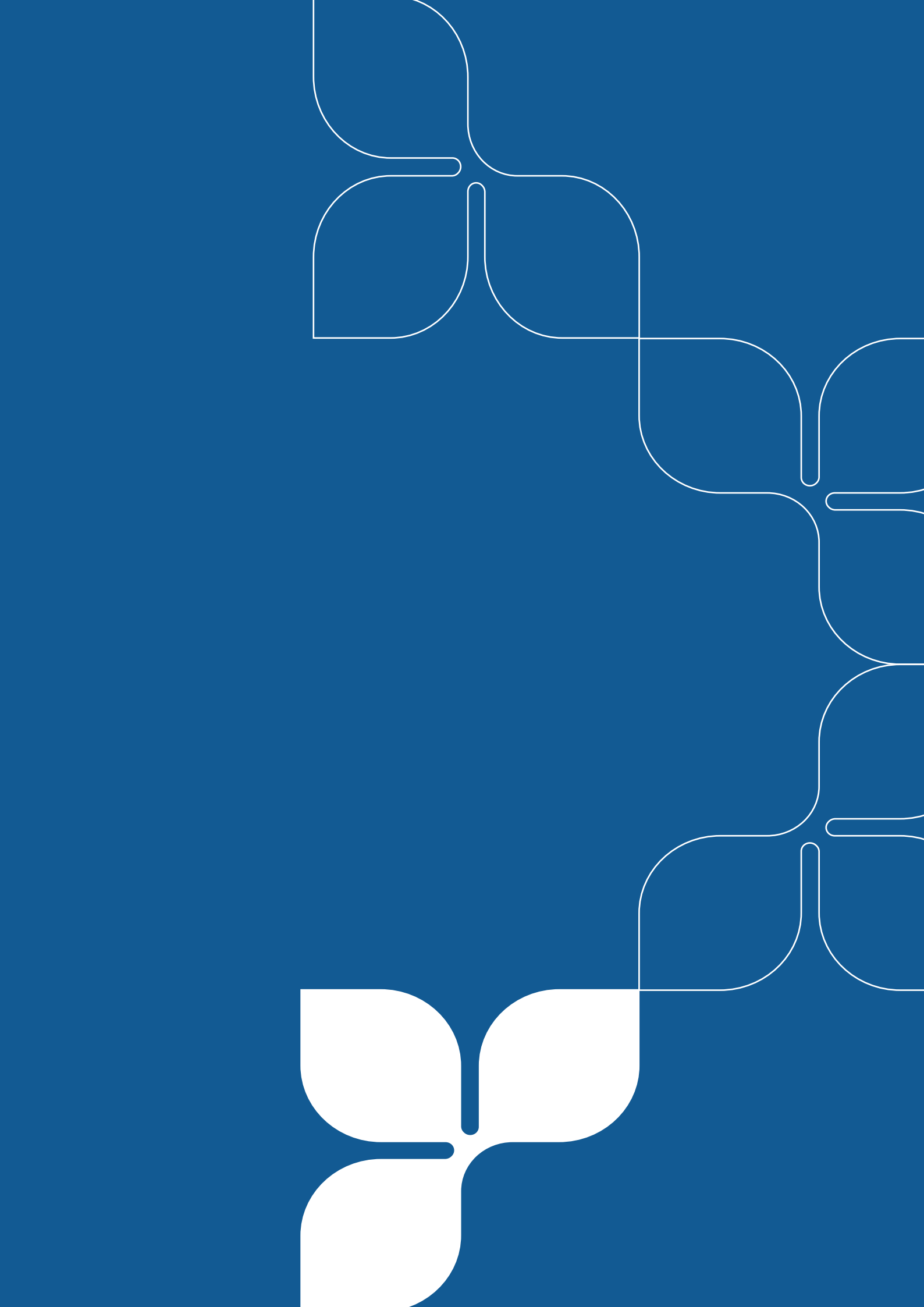
O cenário *Net Zero* traz uma redução de 70% das emissões do setor até 2050, com 36,2 $MtCO_2e$ evitadas (2025–2050). Considerando as medidas priorizadas para o setor de resíduos sólidos e efluentes, destaca-se os ganhos com o aproveitamento energético de metano, oriundo da digestão de compostos orgânicos provenientes dos resíduos. As principais medidas com capacidade de reduzir os custos de descarbonização são a produção de energia a partir de biogás em aterros sanitários e a reciclagem, gerando renda a partir de sua implementação.



Legenda:

1 - Compostagem; **2** - Aterros sanitários - biogás / energia; **3** - Aterros sanitários - flares;
4 - Recuperação de metano em ETE; **5** - Biodigestão; **6** - Incineração

Figura 12 - Curva de Custo Marginal de Abatimento do Setor de Resíduos e Efluentes



Estratégias para Descarbonização do Paraná

As estratégias de descarbonização foram construídas com base em cenários prospectivos até 2050, divididos de acordo com os setores apresentados. Dois cenários principais orientam as metas: o Cenário de Referência, que mantém a trajetória atual das emissões, e o Cenário *Net Zero*, que considera a implementação plena das medidas priorizadas. As premissas macroeconômicas — como crescimento populacional, evolução do PIB e avanços tecnológicos — foram customizadas para a realidade paranaense e aplicadas na modelagem por setor.

No setor de AFOLU, o PEDEP prevê transformações estruturais, como a recuperação de pastagens degradadas, ampliação de sistemas integrados e de plantio direto, reflorestamento e controle do desmatamento ilegal, com destaque para o papel do setor como sumidouro líquido de carbono. Já no setor de Energia, a proposta inclui a substituição de combustíveis fósseis por biogás, biometano e hidrogênio verde, aumento da eficiência energética e aproveitamento de resíduos industriais para cogeração elétrica.

O setor de Transportes, responsável por significativa parcela das emissões, tem como foco a eletrificação da frota, uso de biocombustíveis avançados (como SAF e diesel verde), expansão do transporte ferroviário e incentivo à mobilidade ativa. No setor IPPU, destacam-se medidas como adição de escória ao clínquer, otimização de processos térmicos, uso de queimadores oxy-fuel e a introdução gradual de tecnologias de captura e uso de carbono (CCUS). Por fim, no setor de Resíduos e Efluentes, o plano propõe a universalização da coleta e tratamento, ampliação da compostagem, encerramento de lixões, e aproveitamento energético do biogás.





5. AFOLU

O setor de AFOLU abrange as emissões e remoções de gases de efeito estufa associadas às atividades agropecuárias, uso e manejo do solo, florestas e mudanças no uso da terra. No Estado do Paraná, este setor representa parcela relevante das emissões totais, destacando-se os seguintes componentes: emissões provenientes da fermentação entérica e manejo de dejetos animais, emissões relacionadas ao uso de fertilizantes nitrogenados e práticas de manejo do solo, além da conversão de florestas e áreas nativas. Também são contabilizadas as remoções por sumidouros florestais e áreas em reflorestamento. As estratégias de descarbonização para o setor AFOLU no Paraná devem considerar a expansão de sistemas integrados de produção, a recuperação de pastagens degradadas e a ampliação de práticas conservacionistas e de sequestro de carbono.

5.1 Medidas priorizadas e metas adotadas

O setor AFOLU representou 54% das emissões líquidas de GEE do Paraná em 2019, com destaque para as emissões provenientes da fermentação entérica de ruminantes, manejo de dejetos animais, uso de fertilizantes nitrogenados, queima de resíduos agrícolas e conversão de florestas e áreas naturais (2INVPR, 2023). Também se destacam as remoções por florestas plantadas e nativas, que contribuem de forma significativa para o sequestro de carbono no estado. As metas de descarbonização do setor foram definidas com base nas medidas priorizadas no cenário Net Zero, buscando expandir práticas sustentáveis e restaurativas na agropecuária e no uso da terra, com ênfase na ampliação de sistemas integrados, recuperação de pastagens, biodigestão de resíduos orgânicos e manejo florestal sustentável.

As medidas e metas aqui apresentadas foram selecionadas com base em seu potencial de mitigação, viabilidade econômica, sinergia com políticas públicas já existentes e compatibilidade com os sistemas produtivos predominantes no Paraná. A priorização levou em conta ainda a possibilidade de ampliação em escala, o alinhamento com o Plano ABC+ Paraná e a capacidade de articulação com o setor privado e cooperativas.

I. **Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano:** Refere-se ao aproveitamento da biomassa por meio de compostagem e da digestão anaeróbia para geração de CH_4, que possibilita o aproveitamento energético, por meio de biogás e, com devido tratamento, biometano;

II. **Aumentar a fiscalização e penalização para reduzir a queima de resíduos agrícolas:** busca reduzir as práticas de queima de resíduos agrícolas para limpeza ou qualquer outra finalidade por meio de ações de fiscalização, sensibilização e penalização de infratores, concomitantemente com aprimoramento das ferramentas de monitoramento;

III. **Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG):** Refere-se ao melhoramento de atributos físico-químico-biológicos dos solos, por meio do plantio direto, da baixa mobilização do solo e da rotação e/ou consorciação de culturas;

IV. **Recuperar ou renovar pastagens em solos degradados:** Consiste em restaurar áreas de pastagens degradadas utilizando práticas como correção da fertilidade do solo, rotação de pastagens, plantios de espécies nativas e controle de espécies invasoras;

V. **Aumentar a área ocupada por sistemas integrados:** Objetiva-se em promover a produção por meio da utilização do solo para finalidade distintas, porém integradas, como a lavoura-pecuária (ILP), pecuária-floresta (IPF), lavoura-floresta (ILF) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF), Sistema Santa Fé e outros;

VI. **Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável:** Refere-se à expansão de plantações florestais (como eucalipto e pinus) com práticas de manejo que promovem o equilíbrio entre produção e conservação ambiental;

VII. **Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais:** Trata-se de sistemas que combinam, de forma planejada, árvores ou arbustos com cultivos agrícolas e/ou criação de animais em uma mesma área, simultaneamente ou em períodos alternados, visando diversificar a produção, gerar renda, proteger o solo e a água e promover o envolvimento local;

VIII. **Restaurar a vegetação nativa em Reserva Legal (RL):** Busca estimular a restauração de RL, conforme previsto no Cadastro Ambiental Rural das propriedades, estimulando o aumento da cobertura vegetal com vegetação nativa, com técnicas de adensamento, enriquecimento e nucleação para acelerar a restauração ambiental dessas áreas, além disso, poderão ser estimulados os usos econômicos e sustentáveis dessas áreas;

IX. **Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR:** As áreas úmidas e áreas de campos naturais desempenham um papel importante para a captura e conservação do carbono armazenado nos solos, por meio de soluções baseadas na natureza e manejo para conservação e restauração das áreas de campos naturais, e

X. **Reduzir o desmatamento ilegal:** A continuidade de esforços para coerção e inibição dos atos de desmatamento ilegal, mantendo como valor de referência a área desmatada no último ano do inventário estadual de emissão de gases de efeito estufa mais recente, 2132,04 ha;

XI. **Restaurar vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP):** Busca estimular a restauração de APP, principalmente vegetação ripária, correlacionando a medida com ações de segurança hídrica e de conservação da biodiversidade do Estado;

XII. **Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR:** Trata-se da delimitação dos fragmentos florestais mais significativos em Unidades de Conservação, visando a conservação dos estoques de carbono e a disponibilidade de serviços ecossistêmicos para a região de entorno.

Tabela 2 – Potencial de mitigação das medidas do Setor de AFOLU (MtCO2e)

Medida	Curto Prazo (2025 a 2030)	Médio Prazo (2031 a 2040)	Longo Prazo (2041 a 2050)
Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano	8,78	50,7	112,9
Restaurar vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP); Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL), e Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR.	1,79	6,69	11,78
Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais	0,38	2,23	4,96

Aumentar a área ocupada por sistemas integrados	4,58	15,11	18,9
Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável	10,04	26,66	69,9
Aumentar a fiscalização e penalização para reduzir a queima de resíduos agrícolas	0,08	0,48	0,4
Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)	0,63	10,55	27,9
Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	0	0	0,01
Reduzir o desmatamento ilegal	0	0	11,78
TOTAL SETOR	**26,28**	**112,42**	**258,53**

Vale destacar que a medida de recuperação de pastagens não apresenta potencial de redução de emissões, pois a recuperação e restauração deverá ocorrer por meio da adoção de outras medidas priorizadas, dessa forma, a contabilização foi dividida entre essas medidas. Assim sendo, esta medida entra nas metas a seguir de forma complementar às demais, funcionando como ferramenta para possibilitar outras metas de descarbonização.

Tabela 3 – Metas de Descarbonização para o Setor de AFOLU

	META PARA CADA MEDIDA			
Medidas de Descarbonização	**Curto Prazo (Até 2030)**	**Médio Prazo (2031 - 2040)**	**Longo Prazo (2041 - 2050)**	**Indicador**
Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano	Manejar 78,9 milhões. m³.	Manejar 180,7 milhões. m³.	Manejar 252,3 milhões. m³.	AFOLU.1. Volume anual de dejetos tratados por biodigestores, conforme constar no licenciamento ambiental. AFOLU.2. Volume anual de dejetos tratados por compostagem, conforme constar no licenciamento ambiental. AFOLU.3. Número de animais atendidos por sistemas de manejo de resíduos da produção animal.
Aumentar a fiscalização e penalização para reduzir a queima de resíduos agrícolas	Reduzir as emissões em 53,20%.	Reduzir as emissões em 85,30%.	Reduzir as emissões em 87,10%.	AFOLU.4. Total de área queimada por ano. AFOLU.5. Percentual de áreas antropizadas queimadas em relação ao total de área queimada por ano.
Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)	Qualificar 400 mil ha.	Qualificar 2,5 milhões de ha.	Qualificar 1,5 milhão de ha.	AFOLU.6. Área com sistemas de plantio direto de grãos (SPDG) qualificado.
Recuperar ou renovar pastagens em solos degradados	Restaurar ou renovar 351 mil ha.	Restaurar ou renovar 552,8 mil ha.	Restaurar ou renovar 816,3 mil ha.	AFOLU.7. Área de pastagens em solos degradados recuperada
Aumentar a área ocupada por sistemas integrados	Ocupar 500 mil ha.	Ocupar 665,8 mil ha.	Ocupar 1,1 milhão de ha.	AFOLU.8. Área manejada por sistemas de integração.
Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável	Ocupar 220 mil ha.	Ocupar 384 mil ha.	Ocupar 491,4 mil ha.	AFOLU.9. Área ocupada por florestas plantadas com certificado por produção sustentável.
Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais	Ocupar 30 mil ha.	Ocupar 50 mil ha.	Ocupar 70 mil ha.	AFOLU.10. Área ocupada por sistemas agroflorestais.
Restaurar vegetação nativa, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL) Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	Restaurar 27,8 mil ha.	Restaurar 56,3 mil ha.	Restaurar 70,1 mil ha.	AFOLU.11. Área (ha) de restauração de vegetação nativa no estado do Paraná.
Reduzir o desmatamento ilegal	Evitar a emissão de 44% das emissões em comparação com 2019.	Evitar a emissão de 56% das emissões em comparação com 2019.	Evitar a emissão de 80% das emissões em comparação com 2030.	AFOLU.12. Área (ha) de desmatamento ilegal. AFOLU.14. Emissões oriundas do desmatamento ($MtCO_2e$ / ano).
Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	Expandir a área de unidades de conservação em 30 mil ha.	Expandir a área de unidades de conservação em 10 mil ha.	Expandir a área de unidades de conservação em 10 mil ha.	AFOLU.13. Área (ha) de vegetação nativa protegida no estado do Paraná.

5.2 Análise das barreiras e Estratégias de Superação

A implementação das medidas de descarbonização no setor de Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU) enfrenta barreiras relacionadas a aspectos técnicos, financeiros, culturais, de capacitação e de estrutura fundiária. A limitação de assistência técnica especializada, a falta de conhecimento sobre tecnologias de baixa emissão, os elevados custos de investimento inicial e a dificuldade de acesso a crédito por pequenos e médios produtores são fatores críticos que limitam a adoção de práticas sustentáveis. A fragmentação institucional, a sobreposição de políticas públicas e a ausência de articulação entre os diferentes níveis de governo também dificultam a coordenação de ações.

A superação dessas barreiras requer ações integradas que envolvam o fortalecimento da extensão rural, ampliação de linhas de crédito específicas para práticas agroambientais, valorização de serviços ecossistêmicos e integração entre instituições de pesquisa, órgãos de meio ambiente e setor produtivo. A regularização fundiária, o mapeamento de áreas prioritárias e o apoio a mercados de carbono rurais também se apresentam como instrumentos relevantes para viabilizar as estratégias de descarbonização.

A seguir encontra-se o Plano de Ação elaborado para o setor de AFOLU.

Tabela 4 – Plano de Ação para o Setor de AFOLU

				Prazos		
Medida de descarbonização	**Potencial de Descarbonização**	**Ações para implantação**	**Responsável***	**Curto (2030)**	**Médio (2040)**	**Longo (2050)**
Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano.	Até 2050, será mitigada a emissão de 172,44 $MtCO_2e$.	Licenciamento Ambiental: Exigir avaliação de emissões de GEE e planos de mitigação para sistemas de tratamento de manejo de resíduos em propriedades de grande porte,	SEDEST / IAT	X	X	X
		Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos para emissões de GEE em gestão resíduos da produção animal e limites de emissões por setor.	SEDEST / IAT	X		
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e *accountability*.	SEDEST / IAT	X	X	X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas, etc.	SEFA / SEDEST / IAT	X	X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões evitadas por meio dos dejetos de produção animal para geração de créditos, integrando o estado a mercados climáticos.	SEFA / SEDEST / IAT		X	X
Aumentar a fiscalização e penalização para reduzir a queima de resíduos agrícolas.	Até 2050, será mitigada a emissão de 0,926 $MtCO_2e$.	Monitoramento e Fiscalização: Reforçar as ações de monitoramento da utilização de fogo para limpeza de áreas agrícolas, instruir produtores rurais e aperfeiçoar os métodos de monitoramento e fiscalização.	SETI / SIMEPAR / SEDEST / IAT	X		
		Sanções: Aplicar penalidades (multas, embargos) àqueles ou setores que descumpram metas de descarbonização ou não adotem medidas de mitigação exigidas.	SEFA / SEDEST / IAT	X		
Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)	Até 2050, será mitigada a emissão de 77,98 $MtCO_2e$.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento agricultura de baixo carbono, incluindo a adoção de SPDG	SEAB / IDR / SEFA	X	X	X
		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar produtores rurais que praticam SPDG com setores com dificuldade de redução direta de suas emissões	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X

Recuperar ou renovar pastagens em solos degradados	A medida não apresenta meta de redução de emissões, pois a recuperação e restauração deverá ocorrer por meio da adoção de outras medidas priorizadas, dessa forma, a contabilização foi dividida entre essas	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento agricultura de baixo carbono, incluindo a recuperação e renovação de pastagens.	SEAB / IDR / SEFA	X	X	X
		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar produtores rurais que praticam recuperação e renovação de pastagens. com setores com dificuldade de redução direta de suas emissões	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
Aumentar a área ocupada por sistemas integrados	Até 2050, será mitigada a emissão de 38,65 $MtCO_2e$.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento agricultura de baixo carbono, incluindo os sistemas de integração.	SEAB / IDR / SEFA	X	X	X
		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar produtores rurais que	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável	Até 2050, será mitigada a emissão de 106,36 $MtCO_2e$.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento agricultura de baixo carbono, incluindo a adoção de florestas plantadas.	SEAB / IDR / SEFA	X	X	X
		Gestão de Recursos Naturais: Promover o uso sustentável de florestas, solos e água, integrando serviços ecossistêmicos (ex.: carbono florestal) às políticas climáticas das organizações.	SEAB / IDR / SEDEST / IAT	X	X	X
		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar gestores e empresas do setor	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais	Até 2050, será mitigada a emissão de 7,58 $MtCO_2e$.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento agricultura de baixo carbono, incluindo os sistemas agroflorestais.	SEAB / IDR / SEFA	X	X	X
		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar produtores rurais que gerem	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
Restaurar vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP);	Até 2050, será mitigada a emissão de 20,47 $MtCO_2e$.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para ações de restauração.	SEDEST / IAT / SEFA	X		
		Gestão de Recursos Naturais: Estimular o uso sustentável de florestas, para favorecer a restauração da vegetação nativa, integrando serviços ecossistêmicos, integrando e valorizando a restauração por meio das políticas climáticas.	SEDEST / IAT	X	X	X
Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL);		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar responsáveis pela restauração	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR. (1)		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para ações de restauração.	SEDEST / IAT / SEFA	X	X	X
		Gestão de Recursos Naturais: Estimular o uso sustentável de florestas, para favorecer a restauração da vegetação nativa, integrando serviços ecossistêmicos, integrando e valorizando a restauração por meio das políticas climáticas.	SEDEST / IAT	X	X	X
		Mercados de Compensação: Criar mecanismos locais de compensação, e conectar responsáveis pela restauração	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X
		Negociação de Créditos de Carbono: Fomentar projetos de redução de emissões para geração de créditos, integrando o Estado a mercados climáticos.	SEAB / IDR / SEFA / SEDEST / Casa Civil		X	X

**O Grupo Gestor será o responsável pelo acompanhamento das metas. Os órgãos indicados são sugestões de apoio ao grupo*

5.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)

A proposição do sistema de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) para o setor de Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU) tem como objetivo assegurar o acompanhamento da redução líquida de emissões e o aumento da capacidade de sequestro de carbono por sistemas agrícolas, florestais e de uso do solo. O sistema foi estruturado para integrar dados de campo, informações de sensoriamento remoto, registros de produção agropecuária, dados de cobertura e uso da terra, além de relatórios técnicos oriundos de sistemas públicos de monitoramento ambiental e rural.

5.3.1 Indicadores-chave de Desempenho (KPIs)

Os indicadores selecionados para o MRV do setor AFOLU consideram as práticas produtivas e o uso do solo mais representativos do estado, com foco em emissões de metano e óxido nitroso, cobertura vegetal, e áreas com práticas conservacionistas ou integradas.
A seguir encontra-se a tabela com os indicadores propostos para o setor de AFOLU.

Tabela 5 – Indicadores de Monitoramento para as medidas de AFOLU

Medida	Indicador Proposto	Unidade	Frequência
Aumentar a fiscalização e penalização para reduzir a queima de resíduos agrícolas	Total de área queimada por ano	Hectares/ano	Anual
Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano	Volume anual de dejetos tratados por biodigestores, conforme constar no licenciamento ambiental.	M³/ano	Anual
Reduzir o desmatamento ilegal	Área (ha) de desmatamento ilegal.	Hectares/ano	Anual
Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	Área (ha) protegida no estado do Paraná	Hectares/ano	Anual
Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL)	Área (ha) de restauração de vegetação nativa no estado do Paraná	Hectares/ano	Anual
Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais	Área ocupada por sistemas agroflorestais	Hectares/ano	Anual
Recuperar ou renovar pastagens em solos degradados	Área de pastagens em solos degradados recuperada	Hectares/ano	Anual
Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável	Área ocupada por florestas plantadas com certificado por produção sustentável	Hectares/ano	Anual
Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)	Área com sistemas de plantio direto de grãos (SPDG) qualificado	Hectares/ano	Anual

Aumentar a área ocupada por sistemas integrados	Área manejada por sistemas de integração	Hectares e hectares/ano	Anual
Reduzir o desmatamento ilegal	Emissões oriundas do desmatamento ($MtCO_2e$ / ano).	$MtCO_2e$ / ano	Anual

5.3.2 Fontes de Dados

As informações para monitoramento e verificação das medidas de descarbonização do setor AFOLU deverão ser obtidas e acompanhadas através de bases públicas oficiais, podendo contar também com outras fontes designadas pelo Grupo Gestor.

Algumas possíveis fontes são:

- Sistemas de Cadastro Ambiental Rural (CAR);
- Registros de produção e movimentação animal (SISBOV, SIGEN+);
- Informações do Censo Agropecuário e IBGE/PNAD Rural;
- Mapas e imagens de satélite (projetos MapBiomas, TerraClass, PRODES);
- Planos de manejo e inventários florestais;
- Relatórios de execução do Plano ABC+ PR.

O uso de ferramentas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagens espaciais é recomendado para quantificação de sequestro de carbono, monitoramento de cobertura vegetal e verificação da adoção de práticas conservacionistas.

5.3.3 Governança do MRV

A governança do MRV deverá ser feita pelo Grupo Gestor, contando com o apoio de órgãos designados para execução das ações. Algumas instituições são sugeridas como possíveis parceiras para a governança são:

- SEDEST;
- Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (SEAB);
- IAT (monitoramento florestal e CAR);
- EMATER e IDR-Paraná (extensão rural);
- Instituições de pesquisa agropecuária (EMBRAPA, universidades).

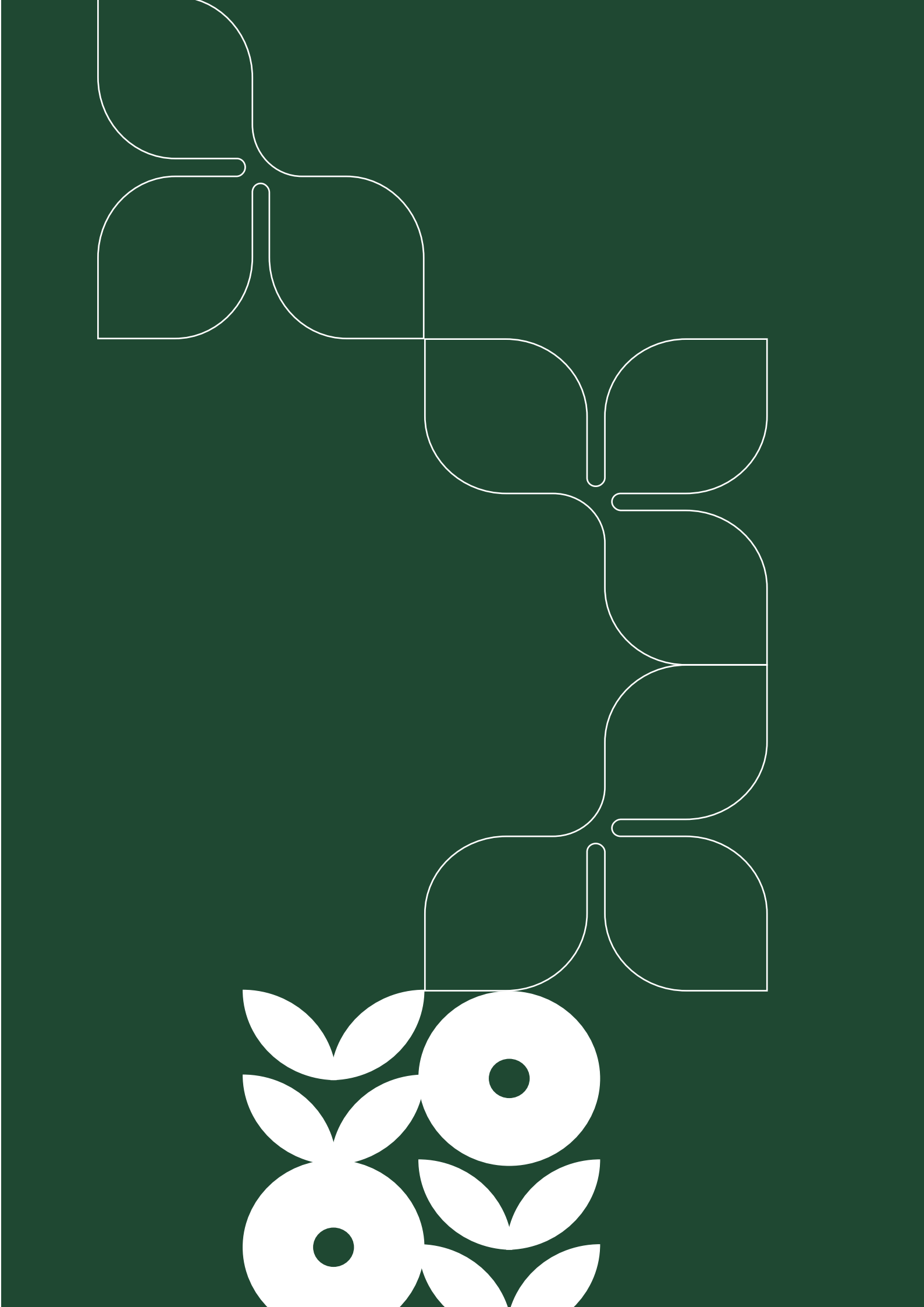
5.4 Custos de Implementação

A partir de dados de custo de abatimento e do potencial de mitigação previstos, as medidas foram organizadas de forma a retratar os custos previstos para sua implementação no Estado do Paraná. Custos negativos[3] indicam economia líquida ao adotar a medida.

[3] *Um custo marginal de abatimento de carbono de valor negativo significa que a redução de uma unidade adicional de emissão de carbono produz um benefício financeiro, ou seja, a implementação da medida de redução de emissões de GEE economiza dinheiro ou até mesmo gera lucro.*

Tabela 6 – Síntese dos custos por medida para o Setor de AFOLU (em Milhões de R$)

Medida	Custos até 2030	Custos (2031-2040)	Custos (2041-2050)
Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano	R$ 233,70	R$ 1.349,47	R$ 3.005,03
Restaurar vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP); Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL), e Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR.	R$ 118,72	R$ 443,70	R$ 781,28
Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais	-R$ 685,22	-R$ 4.021,14	-R$ 8.943,89
Aumentar a área ocupada por sistemas integrados	-R$ 65.191,96	-R$ 215.076,54	-R$ 269.023,60
Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável	-R$ 27,49	-R$ 73,00	-R$ 191,41
Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)	-R$ 1.658,95	-R$ 27.780,81	-R$ 73.467,73
Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	R$ -	R$ -	R$ 0,08
Reduzir o desmatamento ilegal	R$ -	R$ -	R$ 105,16
TOTAL SETOR	**-R$ 67.211,21**	**-R$ 245.158,33**	**-R$ 347.735,08**





6. Energia

O setor de Energia contempla as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da geração e uso de energia em todos os segmentos econômicos, incluindo a queima de combustíveis fósseis e o uso de eletricidade. No Estado do Paraná, as emissões do setor concentram-se predominantemente no consumo de energia em processos industriais, no setor de transportes e no uso de combustíveis para geração de calor e eletricidade. Embora a matriz elétrica do estado seja majoritariamente renovável, com forte participação da hidroeletricidade, ainda há significativa dependência de derivados de petróleo e gás natural em usos finais. As ações de descarbonização no setor incluem a eletrificação de usos finais, o aumento da eficiência energética, a diversificação das fontes renováveis e a substituição progressiva de combustíveis fósseis por alternativas de baixo carbono, como biometano e hidrogênio renovável.

6.1 Medidas priorizadas e metas adotadas

O setor de Energia foi responsável por 36% das emissões líquidas de GEE do Paraná em 2019, especialmente associadas ao consumo de combustíveis fósseis em processos industriais, geração térmica complementar e uso veicular de gasolina e diesel. (2INVPR, 2023). Este setor de Energia sem considerar as emissões pelo Transporte é responsável, aproximadamente, por 10% das emissões totais de GEE no estado.

Apesar da matriz elétrica predominantemente renovável, a dependência de fontes fósseis para usos finais ainda representa um desafio relevante para a transição energética. As metas para a descarbonização do setor foram definidas a partir das medidas priorizadas no cenário Net Zero, que preveem a substituição progressiva de combustíveis fósseis por biometano, eletrificação de processos, ampliação da geração distribuída renovável e modernização dos sistemas de uso final com eficiência energética.

As medidas priorizadas para o setor de energia visam reduzir as emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis e aumentar a participação de fontes renováveis na matriz estadual. As ações foram definidas com base no potencial de substituição, maturidade tecnológica e sinergia com as diretrizes da Política Energética Estadual.

I. **Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais Eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência**: Essa medida prevê a substituição gradual de equipamentos obsoletos ou de baixa eficiência energética utilizados nos setores residencial, comercial e industrial por sistemas modernos, com alta eficiência energética e menor consumo específico (Procel, 2025). A ação está diretamente associada à redução do consumo de energia elétrica e, consequentemente, à diminuição das emissões associadas à geração de eletricidade, considerando o fator médio de emissão do grid nacional (SIRENE, 2023).

II. **Aumento da Produção de Biogás com Dejetos Animais**: A medida consiste em ampliar a produção de biogás a partir do aproveitamento energético de dejetos de origem animal (suínos, bovinos e aves) na agropecuária paranaense. A iniciativa busca reduzir emissões de GEE associadas à decomposição anaeróbia desse material e substituir combustíveis fósseis (como diesel e GLP) por biometano ou energia elétrica gerada localmente. A tecnologia já é madura, com crescente viabilidade técnica e econômica, especialmente em regiões com concentração de atividades agroindustriais. O Paraná, sendo um dos principais produtores de proteína animal do Brasil, possui alto potencial para desenvolvimento dessa cadeia produtiva. A estimativa atual de emissões desta medida é de 475,7 mil toneladas de CO_2e/ano ao final da implementação plena da medida, com perspectiva de crescimento destas emissões devido ao crescimento futuro do rebanho no estado.

III. **Expansão da Geração Elétrica a partir de Biogás e Biometano**: A ação consiste na ampliação da instalação e operação de unidades de biodigestão anaeróbica voltadas ao aproveitamento energético de resíduos da suinocultura e bovinocultura de corte e leite no Paraná, com foco na produção de biogás para geração distribuída de energia elétrica (PARANÁ, 2025). Esta medida visa não apenas mitigar emissões de metano (CH_4), mas também substituir fontes fósseis da matriz elétrica, promovendo uma transição energética sustentável no setor

agropecuário. A implementação envolve a instalação de biodigestores, sistemas de captação e purificação de biogás, geração elétrica local e possível integração com a rede de distribuição.

IV. **Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia:** A medida consiste na adoção de soluções tecnológicas avançadas para a melhoria da eficiência energética nos setores industrial, comercial e residencial, abrangendo a digitalização de sistemas de gestão de energia, automação de processos produtivos, modernização de equipamentos eletrointensivos, implementação de sistemas de controle inteligente (IoT), utilização de iluminação eficiente (LED), motores de alto rendimento, entre outras tecnologias (Butt et al., 2021; IEEE, 2020). Essa iniciativa visa a redução da demanda por energia elétrica, resultando na diminuição das emissões associadas à geração, com potencial estimado de evitar aproximadamente 962 mil toneladas de CO_2 até 2050, com base no fator médio de emissão do SIN (0,0385 tCO_2/MWh) (SIRENE, 2023).

V. **Expansão da Geração Elétrica a partir de Biomassa e Cogeração com Bagaço:** A ampliação da geração de energia elétrica a partir da biomassa, com foco na cogeração a partir do bagaço de cana-de-açúcar, é uma medida estratégica de descarbonização para o estado do Paraná. Trata-se de uma solução que utiliza resíduos agroindustriais amplamente disponíveis no estado, promovendo geração distribuída, aumento da eficiência energética e substituição de fontes fósseis no suprimento elétrico (BP, 2025).

VI. **Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis**: A ampliação da produção e uso de biocombustíveis e combustíveis renováveis é uma das principais estratégias de descarbonização do setor de transportes e parte do setor energético no Estado do Paraná. Essa medida contempla a expansão da produção de etanol, biodiesel e outros biocombustíveis avançados por meio da construção de novas unidades industriais, modernização de plantas existentes, aproveitamento de resíduos agrícolas e incremento da eficiência dos processos produtivos (EPE, 2024). A medida está alinhada com os compromissos nacionais de redução de emissões no setor de energia e com a transição para uma economia de baixo carbono, conforme previsto no cenário *Net-Zero* do Relatório de Modelagem.

VII. **Aproveitamento de Resíduos Industriais para Geração de Energia:** Esta medida promove o aproveitamento energético de resíduos sólidos industriais, especialmente biomassa e rejeitos com potencial calorífico, por meio de tecnologias como cogeração, termovalorização e gaseificação, visando substituir fontes fósseis e complementar a matriz elétrica e térmica do Paraná com fontes mais limpas. Além disso, contribui para a descarbonização ao evitar emissões decorrentes da destinação inadequada desses resíduos (aterros controlados ou queima a céu aberto) e ao substituir emissões da matriz energética convencional. Com base na estimativa atual de cerca de 3,5 milhões de toneladas anuais de resíduos industriais disponíveis no estado, o potencial de geração elétrica é de aproximadamente 2,45 TWh/ano, possibilitando uma redução estimada de 94 mil toneladas de CO_2 por ano (Calza et al., 2015).

VIII. **Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH):** A medida consiste na utilização de biometano, proveniente de resíduos agroindustriais, urbanos e rurais, como insumo energético para a geração de hidrogênio por meio de reforma a vapor em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH) descentralizadas ou centralizadas (IPEA, 2025). Esta solução busca reduzir as emissões associadas à produção de hidrogênio a partir de fontes fósseis, especialmente o gás natural, promovendo uma alternativa de baixo carbono e aproveitando o

potencial regional de produção de biogás e biometano.

IX. **Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável:** A expansão da produção de hidrogênio renovável (H_2) representa uma estratégia-chave para a descarbonização de setores intensivos em carbono, como o industrial, o transporte de longa distância e a geração térmica de energia. A medida prevê a instalação de unidades de eletrólise alimentadas por fontes renováveis (solar, eólica ou hídrica), priorizando o uso de energia excedente e parcerias com polos industriais estratégicos (de Melo, 2024).

Tabela 7 – Potencial de mitigação das medidas do Setor de Energia ($MtCO_2e$)

Potencial de mitigação das medidas do Setor de Energia ($MtCO_2e$)

Medida	Curto Prazo (2025 a 2030)	Médio Prazo (2031 a 2040)	Longo Prazo (2041 a 2050)
Expansão da geração elétrica a biomassa e cogeração com bagaço	3,85	16,00	25,00
Expansão da geração elétrica a partir de biogás e biometano	0,15	0,60	1,00
Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH)		5,00	9,00
Aproveitamento de resíduos industriais para geração de energia	0,95	4,70	8,50
Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência	0,06	0,27	0,45
Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia	0,48	3,85	9,62
Aumento da produção de biogás com resíduos animais	0,59	3,09	4,76
Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável	0,37	7,40	14,00
Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis	0,85	8,00	17,00
TOTAL SETOR	**7,30**	**48,91**	**89,33**

Tabela 8 – Metas de Descarbonização para o Setor de Energia

	META PARA CADA MEDIDA			
MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO	Curto Prazo (Até 2030)	Médio Prazo (2031 - 2040)	Longo Prazo (2041 - 2050)	Indicador
Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais Eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência	Implementar a substituição em 20% das unidades consumidoras prioritárias, incluindo prédios públicos, grandes consumidores comerciais e parte da indústria.	Ampliar a substituição para 50% das unidades consumidoras nos setores-alvo, com foco em pequenas empresas e início da inclusão do setor residencial.	Atingir 80% de substituição em todos os setores, com políticas de incentivo para consumidores de baixa renda e universalização do acesso a equipamentos eficientes.	Redução no consumo de energia
Aumento da Produção de Biogás com Dejetos Animais	Implementar 25% do potencial estadual por meio de projetos-piloto e polos regionais em regiões com alta concentração de produção animal. Meta de produção de energia anual de aproximadamente 442 GWh/ano.	Ampliar para 65% do potencial, com estrutura consolidada de polos regionais, rede de distribuição de biometano e maior integração à matriz energética. Meta de produção de energia anual de aproximadamente 1.150 GWh/ano.	Atingir 100% do potencial com produção em escala, uso em frotas e exportação de excedentes energéticos. Meta de produção de energia anual de aproximadamente 1.770 GWh/ano.	Produção de biogás / Teor energético
Expansão da Geração Elétrica e Biometano a partir de Biogás	Adição de 150 GWh/ano por meio da instalação de sistemas de biodigestão voltados à geração distribuída a partir de resíduos agropecuários.	Ampliação para 300 GWh/ano, com integração à rede elétrica e incorporação de tecnologias de purificação e cogeração.	Expansão para 500 GWh/ano, com consolidação da cadeia do biogás e inserção estruturada na matriz elétrica estadual.	Geração total de eletricidade / Capacidade instalada / Eficiência Energética / Teor energético
Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia	Economia acumulada de 2.500 GWh via modernização de equipamentos, digitalização e automação de processos em setores industriais, comerciais e residenciais.	Redução acumulada de 10.000 GWh, com expansão da adoção de tecnologias de eficiência energética e controle inteligente.	Economia acumulada de 25.000 GWh, com consolidação de práticas eficientes e integração ampla de tecnologias de ponta nos sistemas consumidores.	Redução no consumo de energia
Expansão da Geração Elétrica a partir de Biomassa e Cogeração com Bagaço	Atingir 30% de aproveitamento do bagaço	Expandir o uso do bagaço para 60% de aproveitamento, com meta de 3 TWh/ano de energia elétrica exportada à rede.	Alcançar 90% de aproveitamento energético do bagaço, consolidando a biomassa como fonte estratégica para geração elétrica e substituição de fontes fósseis.	Geração total de eletricidade / Capacidade instalada
Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis	Início da modernização de unidades industriais existentes e ampliação da capacidade instalada em 10%, alcançando cerca de 0,1 bilhões de litros de etanol e 0,05 bilhão de litros de biodiesel por ano.	Expansão progressiva da capacidade produtiva com acréscimo acumulado de 45% em relação à capacidade de 2025, resultando em aproximadamente 1 bilhões de litros de etanol e 0,25 bilhão de litros de biodiesel por ano.	Atingir 100% da meta de expansão, com 2 bilhões de litros de etanol e 0,5 bilhões de litros de biodiesel produzidos anualmente, consolidando os biocombustíveis como fontes estruturantes para a transição energética e a descarbonização do setor de transportes.	Volume de biocombustíveis e combustíveis renováveis
Aproveitamento de Resíduos Industriais para Energia	Implementar o aproveitamento energético de 20% dos resíduos industriais disponíveis, correspondendo a cerca de 0,49 TWh/ano de geração elétrica.	Expandir o aproveitamento para 50% do potencial, atingindo aproximadamente 1,23 TWh/ano de geração.	Atingir 90% do potencial estimado, com cerca de 2,2 TWh/ano de energia gerada, consolidando o uso de resíduos industriais como fonte complementar na matriz energética estadual.	Quantidade de resíduos industriais utilizados / Geração total de eletricidade
Processamento de Biometano em Unidades de Hidrogênio (UGH)	Implantação de ao menos uma Unidade Piloto para geração de hidrogênio a partir de biometano no Paraná.	Expansão da capacidade instalada para 100 toneladas/dia.	Escalonamento da produção para 280 toneladas/dia.	Volume de biometano processado
Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável	Implantação de plantas-piloto com capacidade para produzir 10.000 toneladas/ano de H^2 verde, suportadas por 80 MW de eletrólise.	Expansão da capacidade instalada para 1.100 MW, atingindo 150.000 toneladas/ano de hidrogênio verde.	Consolidação do mercado com 2.200 MW de capacidade instalada, produção de 300.000 toneladas/na.	Volume de Hidrogênio Renovável produzido / Intensidade de Emissões de GEE / Eficiência Energética / Consumo de Água / Pegada de Carbono no Ciclo de Vida / Rastreabilidade da Energia Utilizada

6.2 Análise das barreiras e Estratégias de Superação

No setor de Energia, as principais barreiras à implementação das medidas de descarbonização estão associadas a fatores regulatórios, econômicos e tecnológicos. A ausência de mecanismos regulatórios claros para o uso e comercialização de novas fontes como o biometano e o hidrogênio renovável, o alto custo de capital das tecnologias de eletrificação e a dificuldade de acesso a financiamento específico para eficiência energética são entraves relevantes. Adicionalmente, há entraves relacionados à infraestrutura de rede, à falta de integração com planos setoriais de desenvolvimento e à escassez de mão de obra qualificada para operação e manutenção de sistemas mais eficientes.

Como ações de superação, destaca-se a necessidade de adequações regulatórias que reconheçam as novas fontes de energia, a criação de incentivos tarifários e fiscais para eletrificação de usos finais, e o desenvolvimento de fundos estaduais de transição energética. Programas de capacitação técnica, parcerias com o setor industrial e de serviços e a criação de plataformas de comercialização de energia renovável distribuída também se mostram estratégicos para alavancar a viabilidade das medidas propostas.
A seguir encontra-se o Plano de Ação elaborado para o setor de Energia.

Tabela 9 - Plano de Ação para o setor de Energia

				Prazos		
Medida de Descarbonização	**Potencial de Mitigação da Medida**	**Ações para Implantação**	**Responsável***	**Curto prazo (2030)**	**Médio prazo (2040)**	**Longo prazo (2050)**
Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência	Redução de 0,75 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Auditoria Ambiental	SEDEST, IAT, ANEEL	X	X	X
		Regulamentos e Normas	SEFA, Banco do Brasil, Fomento Paraná	X		
		Subsídios Ambientais	SEFA, Fomento Paraná, BNDES	X	X	
		Programas de Educação Ambiental	SEDEST, Secretaria da Educação	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono	SEDEST, SEPL, Prefeituras Municipais	X	X	X
Aumento da Produção de Biogás com Dejetos Animais	Redução de 11,88 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Licenciamento Ambiental	IAT, SEDEST	X		
		Monitoramento e Fiscalização	IAT, EMATER	X	X	
		Subsídios Ambientais	SEFA, Fomento Paraná, SEAB	X	X	
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	
		Planejamento Ambiental	SEDEST, SEAB, IAT	X		
		Parcerias Público-Privadas:	Invest Paraná, SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	X
		Fomento às Soluções de Baixo Carbono	SEDEST, SEAB, Fomento Paraná	X	X	
Expansão da Geração Elétrica e Biometano a partir de Biogás	Redução de 7,97 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas	AGEPAR, SEDEST	X		
		Monitoramento e Fiscalização	SEDEST, IAT	X	X	
		Subsídios Ambientais	SEFA, Fomento Paraná	X		
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	
		Planejamento Ambiental	SEDEST, SEMA, Municípios	X	X	X
		Parcerias Público-Privadas:	Invest Paraná, SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono	SEDEST, SEFA, Fomento Paraná	X	X	

				Prazos		
Medida de Descarbonização	**Potencial de Mitigação da Medida**	**Ações para Implantação**	**Responsável***	**Curto prazo (2030)**	**Médio prazo (2040)**	**Longo prazo (2050)**
Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia	Redução de 2,73 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Licenciamento Ambiental	IAT, SEDEST	X		
		Regulamentos e Normas	SEDEST, ALEP		X	
		Monitoramento e Fiscalização	Copel, SEDEST		X	X
		Subsídios Ambientais	Fomento Paraná, SEFA	X	X	
		Programas de Educação Ambiental	SENAI, SEBRAE	X	X	X
		Fomento às Soluções de Baixo Carbono	SEDEST, SEAB, Fomento Paraná	X	X	
Expansão da geração elétrica a biomassa e cogeração com bagaço	Redução de 46,67 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Licenciamento Ambiental	IAT, SEDEST	X		
		Regulamentos e Normas	SEDEST, SEFA, ALEP	X		
		Monitoramento e Fiscalização	SEDEST, UTFPR, IAT	X	X	
		Subsídios Ambientais	SEFA, BRDE, Fomento Paraná	X	X	
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	
		Planejamento Ambiental	SEDEST, SEPL, IAT	X	X	
		Parcerias Público-Privadas:	Invest Paraná, SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	X
		Indicadores Ambientais	SEDEST, IAT	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono	SEDEST, SEAB, IAT	X	X	
Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis	Redução de 34 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Licenciamento Ambiental	IAT, SEDEST, Órgãos licenciadores municipais	X		
		Regulamentos e Normas	IAT, SEDEST, Órgãos licenciadores municipais	X		
		Monitoramento e Fiscalização	IAT, SEDEST, TECPAR	X	X	
		Subsídios Ambientais	Fomento Paraná, BRDE, SEFA, SEDEST		X	
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	
		Planejamento Ambiental	SEDEST, SEAB, SETRAN, SDE	X	X	
		Parcerias Público-Privadas (PPP)	Invest Paraná, SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	
		Fomento às Soluções de Baixo Carbono	SEDEST, SEFA, Fomento Paraná, IAT			X
Aproveitamento de Resíduos Industriais para Geração de Energia	Redução de 1,57 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Licenciamento Ambiental	IAT, SEDEST	X		
		Auditoria Ambiental	IAT, FIEP	X		
		Regulamentos e Normas	IAT, SEDEST	X		
		Monitoramento e Fiscalização	IAT, COPEL, CELEPAR	X	X	
		Subsídios Ambientais	SEFA, BRDE, Fomento Paraná	X		
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, Invest Paraná		X	
		Planejamento Ambiental	SEDEST, IAT, SEMA	X		
		Fomento às soluções de baixo carbono	SEDEST, IAT, SEFA	X		
Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGHs)	Redução de 18,9 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas	SEDEST, SEFAZ, SEIL e IAT	X		
		Monitoramento e Fiscalização	IAT, SEDEST	X	X	
		Subsídios Ambientais	SEFAZ, Fomento Paraná	X	X	
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, Invest Paraná		X	
		Planejamento Ambiental	SEDEST, SEEG, IAT	X		
		Parcerias Público-Privadas (PPP)	Invest Paraná, SEDEST, cooperativas, setor privado	X	X	
		Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	IAT, SEDEST		X	
		Fomento às soluções de baixo carbono	SEDEST, Casa Civil			X
Produção de Hidrogênio Renovável	Redução de 11,87 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Licenciamento Ambiental	IAT, SEDEST	X		
		Regulamentos e Normas	SEDEST, SEMA, Órgãos reguladores		X	
		Subsídios Ambientais	SEFA, Invest Paraná, SEDEST	X	X	
		Negociação de Créditos de Carbono	SEDEST, SEFA, SEMA		X	X
		Parcerias Público-Privadas	SEDEST, Invest Paraná, Copel	X	X	
		Fomento às soluções de baixo carbono	SEDEST, Invest Paraná			X

**O Grupo Gestor será o responsável pelo acompanhamento das metas. Os órgãos indicados são sugestões de apoio ao grupo.*

6.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)

O sistema de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) proposto para o setor de Energia visa acompanhar o desempenho na redução das emissões provenientes do uso de combustíveis fósseis e da ampliação de fontes renováveis. O sistema foi estruturado para integrar dados de consumo energético, geração elétrica distribuída e centralizada, composição da matriz energética, eficiência dos usos finais e grau de penetração de tecnologias de baixo carbono.

6.3.1 Indicadores-chave de Desempenho (KPIs)

Os indicadores selecionados para o MRV do setor de Energia foram definidos com base nas principais rotas de descarbonização, abrangendo a substituição de combustíveis fósseis, eletrificação de processos, participação de renováveis e indicadores de intensidade energética.

A seguir encontra-se a tabela com os indicadores propostos para o setor de Energia.

Tabela 10 - Indicadores de Monitoramento para as medidas de Energia

Medida	Indicador Proposto	Unidade	Frequência
Expansão da geração elétrica a biomassa e cogeração com bagaço	Geração total de eletricidade / Capacidade instalada	MWh / MW	Variável
Expansão da geração elétrica a partir de biogás e biometano	Geração total de eletricidade / Capacidade instalada; Eficiência Energética; Teor energético	MWh / MW; kWh/Nm³; % de CH_4	Variável
Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH)	Volume de biometano processado	Nm³	Variável
Aproveitamento de resíduos industriais para geração de energia	Quantidade de resíduos industriais utilizados / Geração total de eletricidade	Toneladas / MWh	Variável
Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência	Redução no consumo de energia	MWh	Variável
Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia	Redução no consumo de energia	MWh	Variável
Aumento da produção de biogás com dejetos animais	Produção de biogás; Teor energético	m³; % de CH_4	Variável
Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável	Volume de Hidrogênio Renovável produzido; Intensidade de Emissões de GEE; Eficiência Energética; Consumo de Água; Pegada de Carbono no Ciclo de Vida; Rastreabilidade da Energia Utilizada	toneladas/ano; $kgCO_2e/kg\ H_2$; % de eficiência energética; m^3/kgH_2; $kgCO_2e/kgH_2$; % de energia renovável	Variável
Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis	Volume de biocombustíveis e combustíveis renováveis	m³	Variável

As informações devem ficar disponíveis ao público por meio de dashboard ou ferramenta similar para monitoramento do PEDEP, disponível on-line em site oficial.

6.3.2 Fontes de Dados

As informações para MRV no setor de Energia serão provenientes de sistema oficial do estado ou outro designado pelo grupo gestor, podendo contar com fontes de informação como relatórios operacionais das plantas produtoras, certificações de eficiência energética (ISO 50001, GRI 302), Certificados de Garantia de Origem, e relatórios de concessionárias.

Outras fontes recomendadas são:

- Plano de expansão da EPE e do estado do Paraná);
- Anuário estatístico da ANP;
- Associação do biogás / EPE / ANP;

6.3.3 Governança do MRV

A governança do MRV deverá ser feita pelo Grupo Gestor, contando com o apoio de órgãos designados para execução das ações. Algumas instituições são sugeridas como possíveis parceiras para a governança são:

- SEDEST;
- Secretaria de Infraestrutura e Logística (SEIL);
- COPEL (integração de dados e concessões);
- ANEEL (dados regulatórios);
- Universidades e centros tecnológicos (apoio metodológico).

Dados obtidos devem ser consolidados em uma Plataforma Estadual de Monitoramento da Descarbonização, que deve permitir a atualização periódica dos indicadores e possibilitar análises por setor, região e tipo de tecnologia.

6.4 Custos de Implementação

A partir de dados de custo de abatimento e do potencial de mitigação previstos, as medidas foram organizadas de forma a retratar os custos previstos para sua implementação no Estado do Paraná. Custos negativos[4] indicam economia líquida ao adotar a medida.

Tabela 11 – Síntese dos custos por medida para o Setor de Energia (em Milhões de R$)

Medida	Custos até 2030	Custos (2031-2040)	Custos (2041-2050)
Expansão da geração elétrica a biomassa e cogeração com bagaço	-R$ 1.111,20	-R$ 4.617,95	-R$ 7.215,55
Expansão da geração elétrica e biometano a partir de biogás	-R$ 78,04	-R$ 312,17	-R$ 520,29
Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH)	R$ -	R$ 3.953,08	R$ 7.115,55
Aproveitamento de resíduos industriais para geração de energia	R$ 413,94	R$ 2.047,91	R$ 3.703,67
Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais Eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência	-R$ 89,25	-R$ 394,21	-R$ 669,41
Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia	-R$ 216,88	-R$ 1.739,54	-R$ 4.346,58
Aumento da produção de biogás com dejetos animais	-R$ 423,27	-R$ 2.201,41	-R$ 3.386,85
Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável	R$ 3.198,68	R$ 63.973,60	R$ 121.031,13
Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis	R$ 41,57	R$ 391,26	R$ 831,42
TOTAL SETOR	**R$ 1.735,55**	**R$ 61.100,56**	**R$ 116.543,09**

[4] *Custo de abatimento de carbono de valor negativo significa que a redução da emissão de carbono produz um benefício financeiro, ou seja, a implementação da medida de descarbonização economiza dinheiro ou até mesmo gera lucro.*





7. Transportes

O setor de Transportes refere-se às emissões diretas de GEE resultantes da queima de combustíveis fósseis em veículos automotores nos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo. No Paraná, o modal rodoviário predomina amplamente, com forte participação do transporte de cargas por caminhões e do transporte individual de passageiros, o que contribui significativamente para as emissões estaduais. As estratégias de mitigação no setor incluem a transição para veículos elétricos e híbridos, a ampliação do transporte coletivo, o uso de biocombustíveis sustentáveis e a adoção de soluções logísticas e tecnológicas para otimização de rotas e redução do consumo específico de combustíveis.

7.1 Medidas priorizadas e metas adotadas

O setor de Transportes representou 26% das emissões líquidas de GEE do Paraná em 2019, com predomínio das emissões diretas decorrentes da queima de combustíveis fósseis no modal rodoviário, que responde por mais de 90% da matriz de transporte do estado. A forte dependência do diesel e a elevada idade média da frota de carga e passageiros impõem desafios à redução das emissões setoriais. As metas de descarbonização foram definidas com base nas medidas priorizadas no cenário Net Zero, com foco na eletrificação da frota pública e urbana, substituição do diesel por biocombustíveis avançados, reestruturação logística e promoção da mobilidade ativa e coletiva..

As medidas para o setor de transportes foram selecionadas a partir da análise do perfil modal do estado, do potencial de substituição de combustíveis fósseis e da possibilidade de eletrificação em escala. A seleção prioriza ações com capacidade de reduzir emissões, promover eficiência logística e estimular a modernização da frota.

I. **Promover o uso do transporte ferroviário:** Ampliação da malha ferroviária e estímulo ao uso do transporte ferroviário para passageiros (VLT) e cargas. Inclui a conclusão das obras para ampliação da linha férrea que estão em andamento, tornando-a apta para operação.

II. **Promover o uso do transporte aquático:** Ampliação de capacidade de hidrovias, sobretudo navegação interior, com aumento da produtividade frente ao transporte rodoviário

III. **Promover o uso do transporte ativo:** Ampliação da infraestrutura de mobilidade ativa, incluindo as ciclovias, bicicletários e sistemas de compartilhamento.

IV. **Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão - individual:** Substituição de tecnologias convencionais para variações elétricas e híbridas (consumindo progressivamente etanol hidratado). A medida considera também a disposição de infraestrutura de recarga na BR-277, com foco em carregadores AC e DC para automóveis, assim como a priorização de aquisição pelo Estado de veículos equipados com motores com recuperação de energia cinética (KERS) e/ou com sistemas de desligamento automático de motores (EIS).

V. **Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo):** Substituição de viagens convencionais, realizadas por meio do transporte individual motorizado de passageiros, por modos rodoviários de maior capacidade, como ônibus urbanos e rodoviários. Os ônibus são progressivamente atualizados para modelos elétricos a bateria.

VI. **Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC):** Substituição de tecnologias convencionais para variações elétricas e, no caso de comerciais leves, híbridas (consumindo progressivamente etanol hidratado).

VII. **Promover o uso de biocombustíveis – etanol:** Aumento do consumo de etanol hidratado em motores de combustão interna (dedicados e híbridos). A medida também inclui o aumento do teor de etanol anidro na gasolina.

VIII. **Promover o uso de biocombustíveis – biodiesel:** Aumento do teor de biodiesel no diesel mineral para os modos rodoviário, ferroviário e/ou hidroviário.

IX. **Promover o uso de biocombustíveis avançados – Diesel verde:** Aumento do teor de Diesel verde no diesel mineral para os modos rodoviário e ferroviário.

X. **Promover o uso de biocombustíveis avançados – SAF:** Aumento do teor de bioquerosene no querosene de aviação para o transporte aéreo.

XI. **Promover o uso de biocombustíveis avançados – Biometano:** Aumento do teor de biometano no gás natural veicular utilizado em motores convertidos de automóveis e caminhões pesados.

Tabela 12 – Potencial de mitigação das medidas do Setor de Transportes ($MtCO_2e$)

Potencial de mitigação das medidas do Setor de Transportes ($MtCO_2e$)

Medida	Curto Prazo (2025 a 2030)	Médio Prazo (2031 a 2040)	Longo Prazo (2041 a 2050)
Incentivar o uso de transportes alternativos (ativo)	0,09	0,55	2,08
Ampliação do uso de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis - biocombustíveis líquidos (etanol)	1,03	21,81	41,30
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão – individual motorizado	0,47	4,16	12,56
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	0,08	3,14	8,81
Ampliação do uso de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis - biocombustíveis líquidos (Biodiesel)	3,52	10,77	11,35
Incentivo ao uso de Biometano	0,00	0,40	1,07
Promover o uso de veículos elétricos, utilizando o Estado como principal fomentador (transporte público)	0,11	2,08	6,22
Promover o uso de modo menos emissor (transporte hidroviário)	0,08	0,85	2,98
Incentivo ao uso de Diesel verde	0,00	13,05	38,35
Incentivo ao uso de Sustainable Aviation Fuel (SAF)	0,00	1,16	3,55
Promover o uso de modo menos emissor (transporte ferroviário)	0,73	6,84	12,40
TOTAL DO SETOR	**6,11**	**64,80**	**140,65**

Tabela 13 – Metas de Descarbonização para o Setor de Transportes

MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO	META PARA CADA MEDIDA			Indicador (% aumento)
	Curto Prazo (Até 2030)	Médio Prazo (2031 - 2040)	Longo Prazo (2041 - 2050)	
Promover o uso do transporte ferroviário	35,3% (aumento tku)	88,2% (aumento tku)	190% (aumento tku)	Milhões de tku (10^6 tku/ano)
				Milhões de pass-km (10^6 pass-km/ano)
Promover o uso do transporte aquático	28,3% (aumento tku)	74,4% (aumento tku)	120,8% (aumento tku)	Milhões de tku (10^6 tku/ano)
Incentivar o uso de transportes alternativos (ativo)	60% (aumento tku)	250% (aumento tku)	600% (aumento tku)	Quilômetros de ciclovias disponíveis
				Número de bicicletários
				Número de cidades e rodovias com STI
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (individual)	15% (auto. BEV) 20% (auto. HEV)	40% (auto. BEV) 40% (auto. HEV)	55% (auto. BEV) 45% (auto. HEV)	Licenciamento de veículos elétricos e híbridos em função da frota total do Estado (% eletrificados/ano)
				Quantidade de carregador AC e DC/ano
				GWh/ano
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (coletivo)	20% (Ônibus BEV)	50% (Ônibus BEV)	70% (Ônibus BEV)	Quantidade de veículos elétricos em função da frota total de ônibus intermunicipais (% eletrificados/ano)
				Quantidade de veículos alternativos sob controle do Governo do Estado do Paraná em função da sua frota total
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	20% (Caminhões leves BEV)	40% (Caminhões leves BEV)	75% (Caminhões leves BEV)	Licenciamento de veículos elétricos em função da frota total de caminhões licenciados Estado (% eletrificados/ano)
Promover o uso de biocombustíveis (etanol)	80% (aumento consumo m^3)	130% (aumento consumo m^3)	160% (aumento consumo m^3)	Milhares de metros cúbicos (10^3 m^3) de etanol hidratado / Milhares de metros cúbicos (10^3 m^3) de gasolina C
Promover o uso de biocombustíveis (biodiesel)	134% (aumento consumo m^3)	215% (aumento consumo m^3)	218% (aumento consumo m^3)	Mistura de biodiesel regulamentada (%)
				Produtoras de biodiesel (unidade)
				Oferta de biodiesel (10^3 m^3/ano)
				Quantidade de casos B100 (unidade)
				Mistura regulamentada (%)
Promover o uso de biocombustíveis avançados (diesel verde)	2% (mistura regulamentada)	10% (mistura regulamentada)	20% (mistura regulamentada)	Produtoras (unidade)
				Oferta de Diesel verde (10^3 m^3/ano)
Promover o uso de biocombustíveis avançados (SAF)	2% (mistura regulamentada)	10% (mistura regulamentada)	20% (mistura regulamentada)	Mistura regulamentada (%)
				Produtoras (unidade)
				Oferta de SAF (10^3 m^3/ano)
Promover o uso de biocombustíveis avançados (biometano)	0% (mistura regulamentada)	10% (mistura regulamentada)	20% (mistura regulamentada)	Mistura regulamentada (%)
				Produtoras (unidade)
				Oferta de Biometano (10^3 m^3/ano)

7.2 Análise das Barreiras e Estratégias de Superação

A transição para um sistema de transportes de baixo carbono no Paraná enfrenta barreiras estruturais, econômicas, institucionais e culturais. Os principais desafios incluem a elevada idade média da frota, o custo de aquisição de veículos elétricos e híbridos, a carência de infraestrutura de recarga e abastecimento alternativo, além da baixa atratividade econômica para investimentos privados em transporte coletivo. A ausência de instrumentos normativos para zonas de baixa emissão e a fragmentação da gestão do transporte urbano entre esferas municipais e estaduais também comprometem a articulação de políticas integradas de mobilidade.

Entre as ações de superação estão a criação de políticas públicas que viabilizem a renovação da frota com tecnologias limpas, a oferta de subsídios e financiamentos para aquisição de veículos de baixa emissão, e o apoio à implantação de infraestrutura de recarga elétrica e corredores verdes. A integração entre políticas urbanas e ambientais, o incentivo a arranjos público-privados e a qualificação da governança metropolitana são caminhos para superar barreiras transversais.

A seguir encontra-se o Plano de Ação elaborado para o setor de Transportes.

Tabela 14 – Plano de Ação para Transportes

Medida de Descarbonização	Potencial de Mitigação da Medida	Ações para Implantação	Responsável*	Prazos		
				Curto prazo (2030)	Médio prazo (2040)	Longo prazo (2050)
Promover o uso do transporte ativo	Redução de 2.714 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos de eficiência energética e limites de emissões de GEE do transporte individual - Instrumentos de CC.	Orgãos reguladores e ambientais	X		
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	Prefeituras, DER-PR e parceiros privados (PPP)	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos.	Prefeituras, Secretaria das Cidades, SEDEST	X	X	X
		Programas de Educação Ambiental: Promover campanhas de incentivo ao consumo de etanol hidratado em veículos flex da frota pública e privada - Instrumentos de Gestão.	DETRAN-PR, escolas, ONGs e mídia	X	X	X
		Planejamento Ambiental: Incluir metas climáticas em planos setoriais (energia, transporte, uso do solo), alinhando políticas públicas à neutralidade carbônica – Instrumentos de Gestão.	Prefeituras e Secretaria das Cidades	X	X	
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e accountability.- Instrumentos de CC.	SIMEPAR	X	X	X
Promover o uso de biocombustíveis – etanol	Redução de 64.142 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos de eficiência energética e limites de emissões de GEE do transporte individual - Instrumentos de CC.	Órgãos designados para a execução da ação	X		
		Planejamento Ambiental: Incluir metas climáticas em planos setoriais (energia, transporte, uso do solo), alinhando políticas públicas à neutralidade carbônica – Instrumentos de Gestão.	SEDEST, SEFA, CGE	X	X	
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas, etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	Secretaria da Fazenda, Assembleia Legislativa	X	X	
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e accountability.- Instrumentos de CC.	SEDEST, SIMEPAR	X	X	X
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	ANP, distribuidoras, cooperativas		X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos.	SEDEST, prefeituras, MDIC, universidades, setor automotivo	X	X	X
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão - individual	Redução de 17.184 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos de eficiência energética e limites de emissões de GEE do transporte individual - Instrumentos de CC.	Órgãos reguladores e ambientais, SEDEST, SEFA, CGE)	X	X	X
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	DER-PR, concessionárias, Grupo gestor	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos.	Governo estadual, SEDEST	X	X	X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas, etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	Secretaria da Fazenda (SEFA), Assembleia Legislativa, SEDEST, SEFA	X	X	

				Prazos		
Medida de Descarbonização	**Potencial de Mitigação da Medida**	**Ações para Implantação**	**Responsável***	**Curto prazo (2030)**	**Médio prazo (2040)**	**Longo prazo (2050)**
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	Redução de 12.027 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas, etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	Órgãos reguladores e ambientais	X	X	
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	ANEEL, concessionárias de energia, operadores logísticos	X	X	X
		Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE): Direcionar atividades econômicas para áreas com menor impacto climático, priorizando zonas de preservação e corredores ecológicos – Instrumentos de planejamento.	Municípios, com apoio legislativo		X	X
		Programas de Educação Ambiental: Promover campanhas de incentivo ao consumo de etanol hidratado em veículos flex da frota pública e privada - Instrumentos de Gestão.	Setor privado	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos.	MDIC, indústria automotiva		X	X
Promover o uso de biocombustíveis – biodiesel	Redução de 25.637 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos de eficiência energética e limites de emissões de GEE do transporte individual - Instrumentos de CC.	Órgãos reguladores e ambientais	X		
		Planejamento Ambiental: Incluir metas climáticas em planos setoriais (energia, transporte, uso do solo), alinhando políticas públicas à neutralidade carbônica – Instrumentos de Gestão.	SEDEST, ANP, CONFAZ	X	X	
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	Secretaria da Fazenda, Assembleia Legislativa	X	X	
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e accountability.- Instrumentos de CC.	SEDEST, IBAMA, MAPA	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos	Órgãos gestores da frota estadual e municipais, Universidades, EMBRAPA, MDIC, Distribuidoras, cooperativas, transportadoras	X	X	X
Promover o uso de biocombustíveis avançados – Biometano	Redução de 1.469$MtCO_2$ de 2025 a 2050	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	Órgãos designados para a execução da ação	X		
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	Prefeituras, empresas concessionárias, SANEPAR, distribuidoras, UTFPR, UFPR, EMBRAPA, CELEPAR	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos	Órgão(s) competente(s) – (Grupo gestor, com o apoio do SEDEST, SANEPAR, cooperativas, agroindústrias)	X	X	X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	Órgão(s) competente(s) – (Grupo gestor, com o apoio do BNDES, Fomento Paraná, bancos cooperativos)	X	X	X

				Prazos		
Medida de Descarbonização	**Potencial de Mitigação da Medida**	**Ações para Implantação**	**Responsável***	**Curto prazo (2030)**	**Médio prazo (2040)**	**Longo prazo (2050)**
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo)	Redução de 8.417 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Avaliação Ambiental Estratégica (AAE): Incorporar critérios de emissões de GEE na avaliação de políticas públicas, planos setoriais e grandes projetos de infraestrutura – Instrumentos de Planejamento.	Órgão(s) competente(s) – (Grupo gestor, com o apoio dos órgãos designados para a execução da ação)	X	X	
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	Concessionárias de transporte, ANEEL e concessionárias de energia	X	X	
		Programas de Educação Ambiental: Promover campanhas de incentivo ao consumo de etanol hidratado em veículos flex da frota pública e privada - Instrumentos de Gestão.	Órgãos designados para a execução da ação, MEC, SENAI, parceiros locais	X	X	X
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e accountability.- Instrumentos de CC.	Órgãos designados para a execução da ação	X	X	X
Promover o uso do transporte aquático	Redução de 3.908 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão	SEIL, DER-PR, autoridades portuárias	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos	Concessionárias e operadores logísticos, Prefeituras, setor privado, DER-PR		X	X
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e accountability.- Instrumentos de CC.	IAT, universidades	X	X	X
Promover o uso de biocombustíveis avançados – Diesel verde	Redução de 51.393 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos de eficiência energética e limites de emissões de GEE do transporte individual - Instrumentos de CC.	Órgãos reguladores e ambientais, SEDEST, ANP, CGE	X	X	
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	SEFA, Fomento Paraná, BNDES)	X	X	X
		Avaliação Ambiental Estratégica (AAE): Incorporar critérios de emissões de GEE na avaliação de políticas públicas, planos setoriais e grandes projetos de infraestrutura – Instrumentos de Planejamento.	SEDEST, MAPA, IBAMA	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos	DER-PR, municípios, operadores logísticos, Universidades, SEDEST, ANP, UTFPR, UFPR, setor automotivo, SIMEPAR, setor privado	X	X	X
Promover o uso de biocombustíveis avançados – SAF	Redução de 4.703 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Regulamentos e Normas: Definir padrões rigorosos de eficiência energética e limites de emissões de GEE do transporte individual - Instrumentos de CC.	Órgãos reguladores e ambientais, ANP, CNPE	X	X	
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	SEFA, Assembleia Legislativa	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos	SEDEST, companhias aéreas, Infraero SIMEPAR, MDIC, MME, organismos multilaterais (GEF, BID)	X	X	X
		Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	Universidades, EMBRAPA, setor privado, Infraero, ANP		X	X
Promover o uso do transporte ferroviário	Redução de 19.970 $MtCO_2$ de 2025 a 2050	Parcerias Público – Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada - Instrumentos de Gestão.	SEDEST, SEIL, DER-PR, operadores logísticos, BID, BNDES	X	X	X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética, agricultura de baixo carbono, tecnologias limpas etc. – Instrumentos Econômico-Financeiros.	SEFA, Receita Federal	X	X	X
		Avaliação Ambiental Estratégica (AAE): Incorporar critérios de emissões de GEE na avaliação de políticas públicas, planos setoriais e grandes projetos de infraestrutura – Instrumentos de Planejamento.	SEDEST, CGE, SIMEPAR	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização (geração de bioenergia/biometano) - Outros Instrumentos	Setor financeiro	X	X	X

*O Grupo Gestor será o responsável pelo acompanhamento das metas. Os órgãos indicados são sugestões de apoio ao grupo

7.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)

A proposição do sistema de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) para o setor de Transportes tem como finalidade monitorar a redução de emissões associadas à matriz de transporte estadual, com foco em mudanças tecnológicas e modais. O sistema foi concebido para integrar dados sobre a composição e idade da frota, tipo de combustível utilizado, extensão da infraestrutura de transporte sustentável, volume de passageiros transportados e emissões específicas por modal.

7.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs)

Os indicadores selecionados para o MRV do setor de Transportes abrangem o uso de combustíveis de baixo carbono, penetração de veículos elétricos, ampliação de transporte coletivo e infraestrutura logística de baixa emissão.

A seguir encontra-se a tabela com os indicadores propostos para o setor de Transportes.

Tabela 15 - Indicadores de Monitoramento para as medidas de Transportes

Medida	Indicador Proposto	Unidade	Frequência
Promover o uso de modo menos emissor (transporte ferroviário)	Atividade de transporte de sistemas ferroviários do estado	Milhões de tku (10^6 tku/ano)	Variável
		Milhões de pass-km (10^6 pass-km/ano)	
Promover o uso do transporte aquático	Atividade de transporte da navegação interior e cabotagem	Milhões de tku (10^6 tku/ano)	Variável
Promover o uso do transporte ativo	Tamanho da malha cicloviária do estado	Quilômetros de ciclovias disponíveis	Variável
	Quantidade de bicicletários	Número de bicicletários	
	Cidades e rodovias com sistemas de STI.	Número de cidades e rodovias com STI	
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão - Individual		Licenciamento de veículos elétricos e híbridos em função da frota total do Estado (% eletrificados/ano)	Variável
	Quantidade de carregadores disponíveis e ativos	Quantidade de carregador AC e DC/ano	Variável
	Total de energia demanda por ano pelo uso dos carregadores da BR 277	GWh/ano	Variável

Medida	Indicador Proposto	Unidade	Frequência
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo)	Frota intermunicipal de ônibus elétricos	Quantidade de veículos elétricos em função da frota total de ônibus intermunicipais (% eletrificados/ano)	Variável
	Frota pública estadual de veículos alternativos (Por exemplo, elétricos e híbridos) do Governo do Estado do Paraná	Quantidade de veículos alternativos sob controle do Governo do Estado do Paraná em função da sua frota total (p. ex, % eletrificados/ano)	Variável
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	Vendas de derivados do petrólio	Licenciamento de veículos elétricos em função da frota total de caminhões licenciados Estado (% eletrificados/ano)	Variável
Promover o uso de biocombustíveis – etanol	Oferta de etanol	Milhares de metros cúbicos (10^3 m^3) de etanol hidratado	Variável
		Milhares de metros cúbicos (10^3 m^3) de gasolina C	
Promover o uso de biocombustíveis – biodiesel	Percentual de mistura regulamentada de biodiesel no diesel mineral	Mistura de biodiesel regulamentada (%)	Variável
	Número de usinas produtoras de biodiesel	Produtoras de biodiesel (unidade)	
	Oferta de biodiesel	Milhares de metros cúbicos (10^3 m^3/ano) de biodiesel	
	Casos de mistura B100 em frota cativa	Quantidade de casos B100 (unidade)	
Promover o uso de biocombustíveis avançados – Diesel verde	Percentual de mistura regulamentada de diesel verde no diesel mineral	Mistura Regulamentada (%)	Variável
	Número de usinas de que produzem diesel verde	Produtoras (Unidade)	
	Oferta de diesel verde	Oferta de Diesel verde (10^3 m^3/ano)	
Promover o uso de biocombustíveis avançados – SAF:	Percentual de mistura regulamentada de SAF no querosene	Mistura Regulamentada (%)	Variável
	Número de usinas de que produzem SAF	Produtoras (Unidade)	
	Oferta de SAF	Oferta de SAF (10^3 m^3/ano)	
Promover o uso de biocombustíveis avançados – Biometano	Percentual de mistura regulamentada de Biometano no Gás Natural	Mistura regulamentada (%)	Variável
	Número de usinas de que produzem Biometano	Produtoras (unidade)	
	Oferta de Biometano	Oferta de Biometano (10^3 m^3/ano)	

7.3.2 Fontes de Dados

As informações para MRV no setor de Energia serão provenientes de sistema oficial do estado ou outro designado pelo grupo gestor, podendo contar com fontes de informação recomendadas, como:

- Anuário do Setor Ferroviário (ANTT)
- Acompanhamento de Autorizações Ferroviárias (ANTT)
- Dados de concessionárias do transporte de passageiros
- Dados de combustíveis da ANP
- Estatístico Aquaviário (ANTAQ)

7.3.3 Governança do MRV

A governança do MRV deverá ser feita pelo Grupo Gestor, contando com o apoio de órgãos designados para execução das ações. Algumas instituições são sugeridas como possíveis parceiras para a governança são:

- SEDEST;
- Secretaria de Infraestrutura e Logística (SEIL);
- DETRAN-PR e DER-PR;
- Agências municipais e metropolitanas de transporte;
- Instituições de pesquisa em mobilidade urbana.

A consolidação dos dados numa Plataforma Estadual permitirá o acompanhamento da renovação da frota, eletrificação de veículos, eficiência do transporte coletivo e emissões por modal.

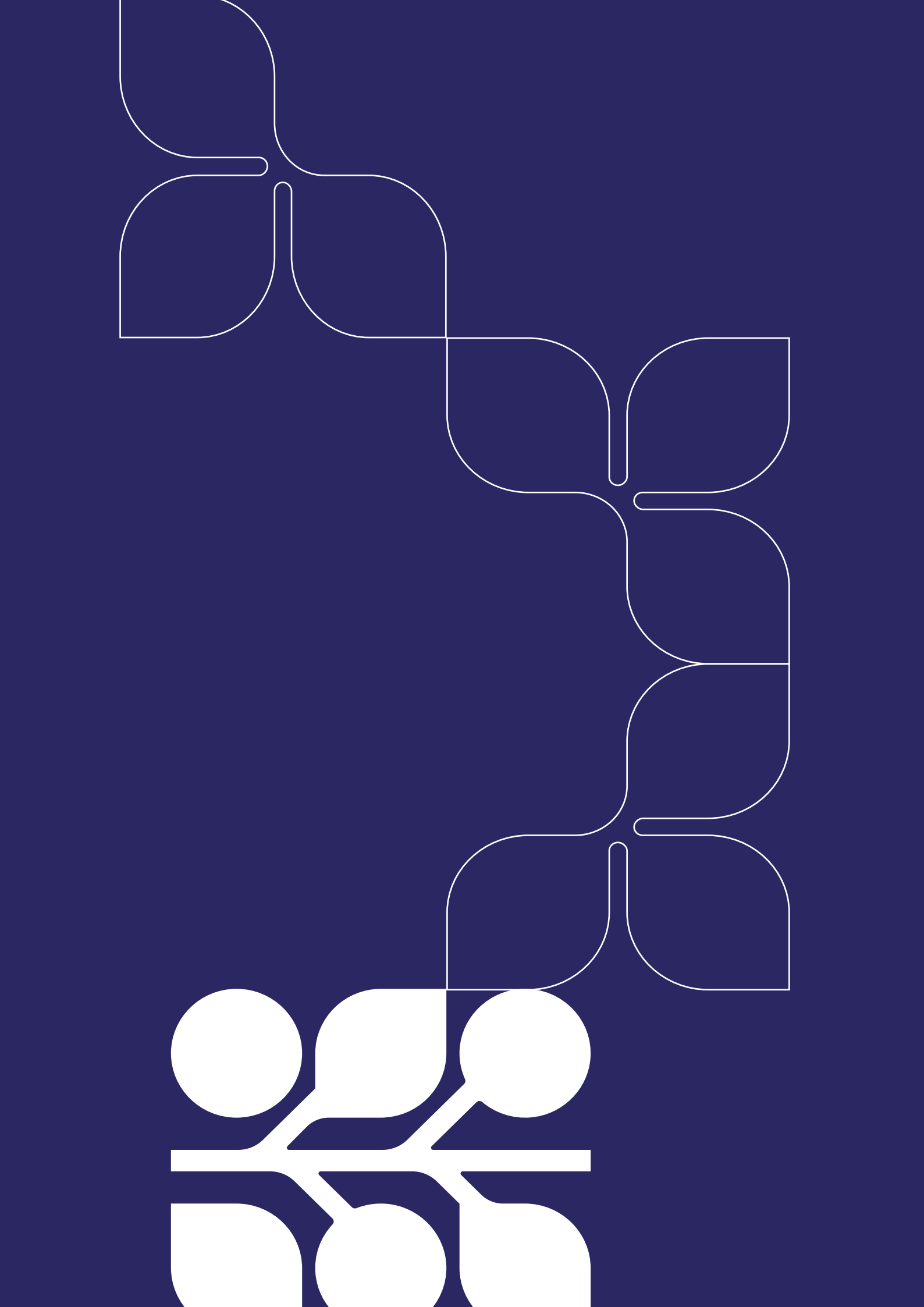
7.4 Custos de Implementação

A partir de dados de custo de abatimento e do potencial de mitigação previstos, as medidas foram organizadas de forma a retratar os custos previstos para sua implementação no Estado do Paraná. Custos negativos[5] indicam economia líquida ao adotar a medida;

Tabela 16 - Síntese dos custos por medida para o Setor de Transportes (em Milhões de R$)

Medida	Custos até 2030	Custos (2031-2040)	Custos (2041-2050)
Incentivar o uso de transportes alternativos (ativo)	-R$ 35,42	-R$ 224,33	-R$ 845,22
Ampliação do uso de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis - biocombustíveis líquidos (etanol)	-R$ 191,91	-R$ 4.064,14	-R$ 7.694,72
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão – individual motorizado	-R$ 17,49	-R$ 155,08	-R$ 468,29
Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	R$ 0,09	R$ 3,44	R$ 9,65
Ampliação do uso de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis - biocombustíveis líquidos (Biodiesel)	R$ 69,46	R$ 212,28	R$ 223,70
Incentivo ao uso de Biometano	R$ -	R$ 45,29	R$ 120,09
Promover o uso de veículos elétricos, utilizando o Estado como principal fomentador (transporte público)	R$ 17,30	R$ 315,96	R$ 944,09
Promover o uso de modo menos emissor (transporte hidroviário)	R$ 19,67	R$ 207,99	R$ 733,12
Incentivo ao uso de Diesel verde	R$ -	R$ 4.465,22	R$ 13.126,28
Incentivo ao uso de Sustainable Aviation Fuel (SAF)	R$ -	R$ 395,69	R$ 1.213,77
Promover o uso de modo menos emissor (transporte ferroviário)	R$ 2.314,08	R$ 21.775,30	R$ 39.476,29
TOTAL DO SETOR	**R$ 2.175,78**	**R$ 22.977,63**	**R$ 46.838,76**

[5] *Custo de abatimento de carbono de valor negativo significa que a redução da emissão de carbono produz um benefício financeiro, ou seja, a implementação da medida de descarbonização economiza dinheiro ou até mesmo gera lucro.*





8. IPPU

O setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) compreende as emissões de gases de efeito estufa (GEE) resultantes de processos industriais que envolvem transformações físico-químicas de matérias-primas, bem como aquelas decorrentes do uso de produtos que contêm ou geram GEE. No contexto do Estado do Paraná, destacam-se três subsetores principais com relevância significativa nas emissões: a indústria mineral (com ênfase nas produções de cimento e cal), a indústria metalúrgica (com foco na produção de ferro-gusa e aço) e a indústria química (notadamente na produção de amônia e metanol).

8.1 Medidas priorizadas e metas adotadas

O setor IPPU representou 6% das emissões líquidas de GEE do Paraná em 2019, com destaque para a produção de cimento, cal, ferro-gusa, aço e produtos químicos, sendo a indústria do cimento a maior emissora do estado (2INVPR, 2023).

As emissões decorrem majoritariamente de reações químicas inerentes nos processos produtivos já consolidados e do uso de matérias-primas carbonatadas, o que se apresenta como um desafio para a redução das emissões. As metas para descarbonização do setor foram definidas com base nas medidas priorizadas pelo cenário *Net Zero*, que buscam diminuir estes desafios impostos.

As medidas e metas aqui apresentadas foram selecionadas com base em potencial de abatimento, viabilidade econômica, maturidade tecnológica e capacidade de replicação, priorizando medidas com custo negativo ou neutro e elevado potencial de replicação no parque industrial do estado. As tecnologias selecionadas abrangem diferentes níveis de maturidade, custo de abatimento e aplicabilidade por subsetor.

I. **Processo por via seca com múltiplos estágios de pré-aquecedores e pré-calcinadores:** Uso de fornos com ciclones e pré-calcinadores para melhorar a eficiência energética e reduzir emissões. Isso reduz o consumo de energia térmica, utilizando calor residual em múltiplos estágios de pré-aquecedores e pré-calcinadores.

II. **Melhorias no sistema de combustão:** Implementação de queimadores como o gyro-therm para melhorar a eficiência da combustão e reduzir emissões.

III. **Adição de matéria-prima não carbonatada (carboneto de escória):** Substituição parcial de calcário por resíduos como carboneto de escória, reduzindo emissões de CO_2 reduz as emissões de CO2 associadas ao processo de calcinação.

IV. **Integração de sistemas de captura e uso de carbono (CCUS):**

- **Rota de pós-combustão:** Utiliza absorção química, adsorção física ou captura por membranas para separar o CO2 após a combustão, com eficiência de até 95%.
- **Rota de oxicombustão:** Substitui o ar na combustão por oxigênio puro, gerando gases ricos em CO2 para captura.
- **Chemical looping (calcium looping):** Captura CO2 usando óxido de cálcio, que pode ser reutilizado como matéria-prima para a planta de cimento, reduzindo emissões diretas.

V. **Sistema de controle avançado:** Implementação de sistemas inteligentes para monitoramento e ajuste em tempo real dos parâmetros operacionais dos fornos, otimizando o desempenho, reduzindo desperdícios de energia e aumentando a eficiência energética.

VI. **Queimadores oxy-fuel:** Substituição ou integração de queimadores tradicionais com queimadores oxy-fuel, que utilizam oxigênio puro em vez de ar para a combustão, melhorando a eficiência térmica, reduzindo emissões de gases de efeito estufa e minimizando o consumo

de combustíveis.

VII. **Preaquecimento da sucata:** Uso de tecnologias para aquecer a sucata metálica antes de sua fusão nos fornos, reduzindo o consumo energético durante o processo de fusão, melhorando a eficiência do forno e diminuindo as emissões associadas ao uso de energia.

VIII. **Consumo de energia (térmica e elétrica):** Refere-se à adoção de práticas e tecnologias de aumento da eficiência energética térmica e elétrica, incluindo isolamento térmico, automação de processos, sensores de temperatura e pressão, melhorias nos sistemas de ventilação, e modernização de motores e acionamentos.

Tabela 17 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de IPPU ($MtCO_2e$)

Medida	Curto Prazo (2025 a 2030)	Médio Prazo (2031 a 2040)	Longo Prazo (2041 a 2050)
Melhorias no sistema de combustão (cimento)	0,03	0,22	0,43
Adição de carboneto de escória (cimento)	0,08	0,58	1,13
Sistema de controle avançado (aço)	-	0,0	0,0
Preaquecimento da sucata (aço)	0	0,02	0,04
Queimadores oxy-fuel (aço)	0	0,01	0,03
CCUS Cimento	0	3,08	9,58
CCUS Cal	0	0,77	2,59
CCUS química	0	3,45	7,1
Processo por via seca com múltiplos estágios de preaquecedores e pré-calcinadores (cimento)	0	0,2	1,42
TOTAL SETOR	0,12	8,35	22,34

Tabela 18 - Metas de Descarbonização para o Setor de IPPU

	META PARA CADA MEDIDA			
Medidas de Descarbonização	Curto Prazo (Até 2030)	Médio Prazo (2031 - 2040)	Longo Prazo (2041 - 2050)	Indicador (% aumento)
Consumo de energia (térmica e elétrica)	65%	55%	45%	% de coque de petróleo na matriz térmica
Melhorias no sistema de combustão	3,5	3,2	2,9	GJ/t clínquer
Adição de carboneto de escória	41%	45%	48%	% escória no clínquer
Sistema de controle avançado (aço)	470	420	380	kWh/t aço
Preaquecimento da sucata (aço)	470	420	380	kWh/t aço
Queimadores tipo oxy-fuel (aço)	470	420	380	kWh/t aço
Processo por via seca com múltiplos estágios	3,5	3,2	2,9	GJ/t clínquer
CCUS – Cimento	0	600.000	1.200.000	t CO_2 capturado/ano
CCUS – Cal	0	160.000	350.000	t CO_2 capturado/ano
CCUS – Química	0	600.000	790.000	t CO_2 capturado/ano

8.2 Análise de Barreiras e Ações de Superação

A implementação das medidas de descarbonização no setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) enfrenta barreiras de natureza técnica, econômica, regulatória, institucional e tecnológica. A identificação e análise dessas barreiras foram sistematizadas a partir da aplicação de matriz qualitativa e de entrevistas com especialistas e representantes do setor industrial do estado.

São apresentadas aqui as barreiras mapeadas e as propostas de ações e medidas para superar as limitações identificadas, maximizando o potencial das estratégias (medidas/tecnologias) e minimizando os riscos para cada setor. Tais ações variam de acordo com medidas e com barreiras mapeadas, sendo assim mais específicas. Contudo, algumas barreiras se repetem, como barreiras econômicas associadas à falta de financiamento ou incentivos diretos, dificuldade de acesso a crédito e alto custo de capital para modernização, e competição com outros investimentos operacionais, ou barreiras institucionais, como as associadas à falta de articulação entre setores envolvidos.

Assim sendo, algumas ações de superação levantadas podem ser consideradas mais transversais pelo setor, como a criação de linhas de crédito verdes específicas novas tecnologias de descarbonização, a implementação de incentivos fiscais, e o acesso facilitado a fundos e a recursos de programas regulamentados. No quesito institucional, o estabelecimento de parcerias entre instituições para disseminação de tecnologias, a promoção de acordos setoriais, a criação de bancos de dados estadual e o apoio técnico por parte da Secretaria de Indústria, Comércio e Serviços (SEIC) apresentam-se como estratégias importantes para lidar com barreiras de diversas medidas

A seguir encontra-se o Plano de Ação elaborado para o setor de IPPU.

Tabela 19 – Plano de Ação do Setor de IPPU

				Prazos		
Medida de Descarbonização	**Potencial de Descarbonização da Medida**	**Ações para Implantação**	**Responsável***	**Curto prazo (2030)**	**Médio prazo (2040)**	**Longo prazo (2050)**
Consumo de energia (cimento)	Redução de 34,466 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos regulatórios	SEDEST, SEIC	X		
		Licenciamento ambiental específico	IAT	X		
		Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
		Planejamento setorial com metas de intensidade energética	SEPL, SEIC	X		
Melhorias no sistema de combustão (cimento)	Redução de 0,687 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos regulatórios	SEDEST, SEIC	X		
		Licenciamento ambiental específico	IAT	X		
		Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
Adição de carboneto de escória (cimento)	Redução de 1,794 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos regulatórios	SEDEST, SEIC	X		
		Licenciamento ambiental específico	IAT	X		
		Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		

		Planejamento setorial com metas de uso	SEPL, SEIC	X		
Sistema de controle avançado (aço)	Redução de 0,034 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná, SEIC	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
		Capacitação técnica e articulação com centros de pesquisa	SETI, SEIC	X		
Preaquecimento da sucata (aço)	Redução de 0,068 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná, SEIC	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
		Capacitação técnica e articulação com centros de pesquisa	SETI, SEIC	X		
Queimadores tipo oxy-fuel (aço)	Redução de 0,043 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná, SEIC	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
		Capacitação técnica e articulação com centros de pesquisa	SETI, SEIC	X		
Processo por via seca com múltiplos estágios (cimento)	Redução de 1,619 $MtCO_2$ até 2050	Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná, SEIC	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
		Capacitação técnica e articulação com centros de pesquisa	SETI, SEIC	X		
CCUS – Cimento, Cal e Química	Redução de 26,565 $MtCO_2$ até 2050	Regulação estadual	SEDEST, SEIC	X		
		Licenciamento ambiental específico	IAT	X		
		Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) para identificação de áreas aptas ao transporte e armazenamento de CO_2	SEDEST / IAT / SEPL	X		
		Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) para orientar políticas públicas relacionadas à CCUS	SEDEST / IAT / SEPL	X		
		Criação de infraestrutura de transporte e armazenamento de CO_2	SEPL, SEIC	X		
		Incentivos fiscais (ICMS, crédito presumido)	SEFA / Invest Paraná, SEIC	X		
		Linhas de crédito verdes (BNDES, Fundo Clima)	Fomento Paraná	X		
		Acesso a fundos internacionais (GEF, GCF, CIF)	Invest Paraná	X		
		Capacitação técnica e articulação com centros de pesquisa	SETI, SEIC	X		

*O Grupo Gestor será o responsável pelo acompanhamento das metas. Os órgãos indicados são sugestões de apoio ao grupo.

8.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)

A proposição do sistema de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) para o setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) tem como objetivo garantir o acompanhamento da redução de emissões associadas às atividades industriais intensivas em carbono. O sistema foi concebido para integrar dados operacionais, indicadores de desempenho energético e informações sobre tecnologias adotadas.

8.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs)

Os indicadores selecionados para o MRV do setor IPPU consideram especificidades dos principais subsetores emissores, especialmente cimento, cal e aço:

Tabela 20 – Indicadores de Monitoramento para as medidas de IPPU

Medida	Indicador Proposto	Unidade	Frequência
Adição de matéria-prima não carbonatada (carboneto de escória)	Proporção de carboneto de escória utilizada na produção de clínquer	%/mês	Mensal
Melhorias no sistema de combustão	Redução das emissões específicas de CO_2 na combustão	kg CO_2/tonelada /mês	Mensal
Processo por via seca com múltiplos estágios de pré-aquecedores e pré-calcinadores	Eficiência térmica do forno	GJ/tonelada/mês	Mensal
Pré-aquecimento de sucata	Redução no consumo de energia por tonelada de sucata processada	GJ/tonelada/mês	Mensal
Integração de sistemas de captura e uso de carbono (CCUS)	Volume de CO_2 capturado e reutilizado ou armazenado	tCO_2/mês	Mensal
Sistema de controle avançado	Redução no consumo de energia por tonelada de aço produzido	kWh/tonelada /mês	Mensal
Queimadores oxy-fuel	Redução no consumo de combustível e emissões específicas de CO_2	GJ/tonelada/mês e $kgCO_2$/tonelada/mês	Mensal

8.3.2 Fontes de Dados

As informações para monitoramento e verificação das medidas de derscarbonização poderão ser obtidas através de diferentes fontes. No caso do setor de IPPU, a principal fonte de informações se dará através de relatórios operacionais das unidades e sistemas de monitoramento internos.

Outras possibilidades de consultas são documentos como:

- Relatórios de autodeclaração das unidades industriais;
- Licenciamento ambiental e condicionantes do IAT;
- Protocolos de auditoria energética e relatórios de sustentabilidade.

Recomenda-se o uso de sistemas digitais de coleta automatizada de dados, especialmente para plantas com elevado volume de produção e operações contínuas

8.3.3 Governança do MRV

A governança do MRV deverá ser feita pelo Grupo Gestor, contando com o apoio de órgãos designados para execução das ações. Algumas instituições são sugeridas como possíveis parceiras para a governança são:

- SEDEST;
- Secretaria da Indústria, Comércio e Serviços (SEIC) (interlocução com o setor produtivo);
- IAT (fiscalização e licenciamento);
- Centros de pesquisa e universidades (apoio metodológico e capacitação).

Dados obtidos devem ser consolidados em uma Plataforma Estadual de Monitoramento da Descarbonização, que deve permitir a atualização periódica dos indicadores e possibilitar análises por setor, região e tipo de tecnologia.

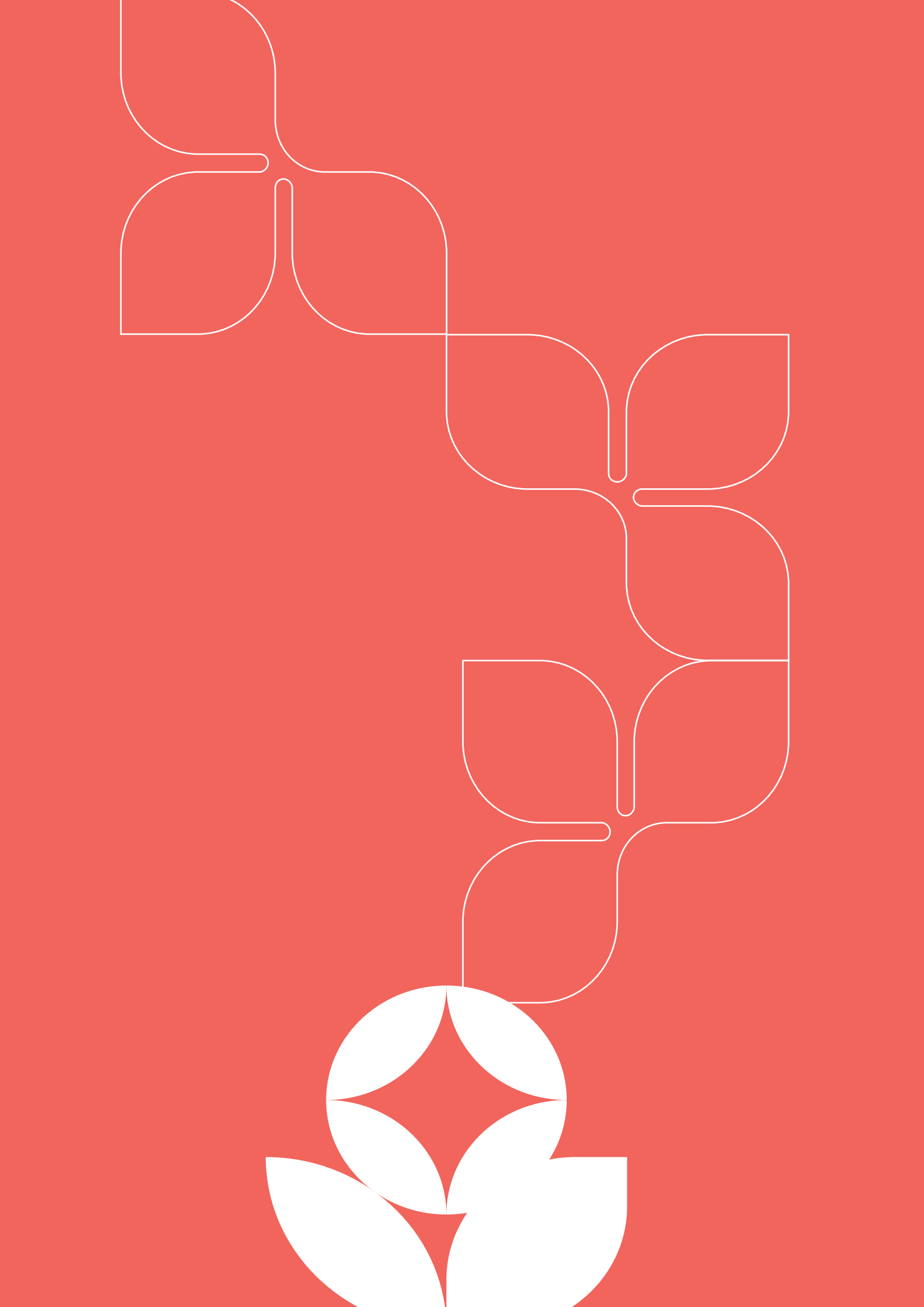
8.4 Custos de Implementação

A partir de dados de custo de abatimento e do potencial de mitigação previstos, as medidas foram organizadas de forma a retratar os custos previstos para sua implementação no Estado do Paraná. Custos negativos indicam economia líquida ao adotar a medida

Tabela 21 – Síntese dos custos por medida para o Setor de IPPU (em Milhões de R$)

Medida	Custos até 2030	Custos (2031-2040)	Custos (2041-2050)
Melhorias no sistema de combustão (cimento)	-R$ 8,29	-R$ 57,51	-R$ 112,17
Adição de carboneto de escória (cimento)	-R$ 31,50	-R$ 220,13	-R$ 429,25
Sistema de controle avançado (aço)	-R$ 3,62	-R$ 19,90	-R$ 37,99
Preaquecimento da sucata (aço)	-R$ 4,62	-R$ 33,92	-R$ 66,29
Queimadores oxy-fuel (aço)	-R$ 1,46	-R$ 10,19	-R$ 19,65
CCUS Cimento	R$ -	R$ 1.921,73	R$ 5.981,21
CCUS Cal	R$ -	R$ 478,25	R$ 1.617,05
CCUS química	R$ -	R$ 2.156,48	R$ 4.431,59
Processo por via seca com múltiplos estágios de preaquecedores e pré-calcinadores (cimento)	R$ -	R$ 88,50	R$ 620,40
TOTAL SETOR	**-R$ 49,49**	**R$ 4.303,32**	**R$ 11.984,90**

Medidas como a adição de escória e refratários apresentam custos baixos ou negativos, com rápida amortização e viabilidade técnica consolidada. Por outro lado, medidas estruturais como CCUS e via seca com múltiplos ciclones demandam investimentos elevados e arcabouço regulatório adequado, sendo mais viáveis no médio e longo prazo;





9. Resíduos e Efluentes

O setor de Resíduos e Efluentes compreende as emissões de GEE provenientes da disposição e tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais, bem como do tratamento de efluentes domésticos e industriais. As principais fontes de emissão no Estado do Paraná estão associadas à decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos em aterros sanitários e ao tratamento de esgoto em sistemas com baixa eficiência na captura de metano. O setor apresenta elevado potencial de mitigação por meio da adoção de tecnologias de aproveitamento energético do biogás, compostagem de resíduos orgânicos, melhorias nos sistemas de coleta e tratamento de efluentes, e incentivos à economia circular.

9.1 Medidas priorizadas e metas adotadas

O setor de Resíduos e Efluentes respondeu por aproximadamente 5% das emissões líquidas de GEE do Paraná em 2019, sendo o metano proveniente da decomposição de resíduos orgânicos em aterros e do tratamento ineficiente de esgoto as principais fontes (2INVPR, 2023). A baixa cobertura da coleta seletiva, a limitada destinação adequada de resíduos orgânicos e o uso disseminado de fossas rudimentares agravam o panorama de emissões do setor. As metas para a descarbonização foram definidas com base nas medidas priorizadas no cenário Net Zero, que incluem o aproveitamento energético do biogás, ampliação da compostagem, modernização dos sistemas de tratamento de efluentes e fortalecimento da economia circular.

As medidas para o setor de resíduos e efluentes foram selecionadas com base no potencial de redução de emissões de metano (CH_4) e na integração com soluções de saneamento, economia circular e aproveitamento energético. As metas são compatíveis com as diretrizes do Plano Estadual de Resíduos Sólidos.

I. **Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR:** Dentre as metas do PERS/PR, encontra-se a redução da geração de resíduos per capita, que se trata da relação entre o total de resíduos gerado com o número de habitantes atendidos, obtendo-se a quantidade (em quilogramas) por habitante (kg hab.$^{-1}$);

II. **Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR:** Essa medida está relacionada com a operacionalização do PERS/PR, poderá ser alcançada por meio de ações de sensibilização e educação ambiental, estímulos a compostagem, logística reversa, valorização de catadores e adoção de embalagens mais adequadas e atrativas à reciclagem;

III. **Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem (industrial, agrícola e doméstica):** Corrobora com a estratégia do PERS/PR, que busca pela "promoção da recuperação ou aproveitamento da fração orgânica dos resíduos, fazendo uso de tecnologias, como a compostagem e biodigestão";

IV. **Implementar novos aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais e estações de transbordo) e auxiliar no encerramento de lixões:** Busca quantificar as emissões em ambiente controlado para o tratamento de resíduos sólidos;

V. **Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e flares) em aterros sanitários:** Essa medida consiste na implementação de sistemas de queimas de gases em aterros sanitários para reduzir a emissão de metano desses locais;

VI. **Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia:** Refere-se à aplicação de tecnologias associadas às rotas térmicas (como incineração, gaseificação e pirólise) para tratamento dos resíduos sólidos;

VII. **Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais:** Devido à alta porcentagem de matéria orgânica

presente nos resíduos sólidos, urbanos e agrícolas, foi sugerido a implementação de sistemas de coleta e aproveitamento do biogás e, eventualmente, produção de biometano;

VIII. Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos: Trata-se da redução das descargas de efluentes sem tratamento em corpos hídricos, considerando as metas previstas no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB);

IX. Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE: Refere-se à implementação de tecnologias capazes de capturar metano gerado a partir do tratamento de efluentes e do lodo das estações de tratamento, e aproveitá-los para produção de energia;

X. Aumentar o percentual de cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes: Corrobora com a medida voltada a redução das descargas de efluentes de forma inadequada, busca promover o aumento da rede de coleta de efluentes e a tornar possível a aplicação de tecnologias que reduzam o potencial de aquecimento dos gases gerados pela decomposição da matéria orgânica presente em efluentes.

Tabela 22 - Potencial de mitigação das medidas do Setor de Resíduos e Efluentes ($MtCO_2e$)

Potencial de mitigação das medidas do Setor de Resíduos e Efluentes ($MtCO_2e$)

Medida	Curto Prazo (2025 a 2030)	Médio Prazo (2031 a 2040)	Longo Prazo (2041 a 2050)
Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR (Compostagem)	0,00	0,10	1,10
Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia	0,00	0,12	0,50
Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica) (Biodigestão)	0,00	2,59	9,84
Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e flares) em aterros sanitários	0,74	1,00	0,13
Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais	3,02	6,17	17,60
Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE	0,45	3,37	7,67
TOTAL DO SETOR	4,21	13,35	36,84

É importante notar que algumas das medidas elencadas não se encontram na tabela acima de potencial de mitigação.

No caso da medida “Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR”, não há uma meta de redução de emissões devido ao desencadeamento da metodologia utilizada, pois as emissões dependem da destinação e os percentuais de destinação final dos Resíduos se distinguem nos cenários. Assim sendo, esta medida mostra-se como medida complementar às demais.

Para a medida “Implementar novos aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais e estações de transbordo) e auxiliar no encerramento de lixões”, alterada para “Aprimorar a estrutura de aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais e estações de transbordo) e auxiliar no encerramento de lixões”, não há mitigação, pois, aterros sanitários apresentam mais emissões do que lixões. Assim sendo, merece destaque como medida complementar, e é uma medida de transição importante, mas requer a gestão dos gases para sua eficiência climática.

Por fim, para as medidas “Aumentar o percentual de cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes” e “Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos”, foram utilizados os mesmos percentuais de atendimento em todos os cenários (Referência e Net Zero), visto que são valores altos e estão relacionados com metas da empresa de saneamento do Estado. Desta forma, ao comparar os valores com o cenário de referência, se torna nula a mitigação.

Tabela 23 - Metas de Descarbonização para o Setor de Resíduos e Efluentes

Medidas de Descarbonização	Curto Prazo (Até 2030)	Médio Prazo (2031 - 2040)	Longo Prazo (2041 - 2050)	Indicador (% aumento)
Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR	Reduzir a geração em 5,20%.	Reduzir a geração em 10%.	Reduzir a geração em 22%.	Geração média per capita de resíduos sólidos. Taxa de geração per capita de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU por porte de município
Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR	Reciclar 7% dos RSU.	Reciclar 13% dos RSU.	Reciclar 19% dos RSU.	Taxa de recuperação de materiais recicláveis (exceto matéria orgânica e rejeitos) em relação à quantidade total (RDOa + RPUb) coletada
		Tratar por compostagem 5% dos RSU.	Tratar por compostagem 10% dos RSU.	Quantidade de RSU encaminhados a compostagem anualmente.
Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica)		Tratar por biodigestão 15% dos RSU.	Tratar por biodigestão 34% dos RSU.	Quantidade de RSU destinados para biodigestão anualmente
Implementar novos aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais e estações de transbordo) e auxiliar no encerramento de lixões	Destinar 100% dos resíduos para locais ambientalmente adequados.	Destinar 100% dos resíduos para locais ambientalmente adequados.	Destinar 100% dos resíduos para locais ambientalmente adequados.	Volume de resíduos sólidos destinados à locais adequados, com licenças válidas ou em processo de renovação em conformidade com Resolução CEMA nº 107/2020
Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e *flares*) em aterros sanitários	Queimar por *flares* 2,70% do metano gerado em aterros sanitários.	Queimar por *flares* 1% do metano gerado em aterros sanitários.	Queimar por *flares* 0% do metano gerado em aterros sanitários.	Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com sistemas de *flares*.
Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários	Aproveitar 11,20% do biogás gerado em aterros sanitários.	Aproveitar 23% do biogás gerado em aterros sanitários.	Aproveitar 35,6% do biogás gerado em aterros sanitários.	Volume de biogás capturado em aterros sanitários e estações de tratamento. Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com aproveitamento de biogás.
Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia		Tratar por incineração 1,43% dos RSU gerados.	Tratar por incineração 1,43% dos RSU gerados.	Resíduos sólidos (t) destinados ao tratamento por rotas térmicas no Paraná.
Aumentar o percentual de cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes	Coletar e tratar 86,1% dos efluentes urbanos e periurbanos.	Coletar e tratar 90% dos efluentes urbanos e periurbanos.	Coletar e tratar 99% dos efluentes urbanos e periurbanos.	Índice de Atendimento com Rede Coletora de Esgotos (IARCE Urbano).

Medidas de Descarbonização	Curto Prazo (Até 2030)	Médio Prazo (2031 - 2040)	Longo Prazo (2041 - 2050)	Indicador (% aumento)
Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos	Reduzir para 13,9% a quantidade de efluentes descarregados sem tratamento.	Reduzir para 1% a quantidade de efluentes descarregados sem tratamento.	Reduzir para 0% a quantidade de efluentes descarregados sem tratamento.	Percentual da população atendida por cada tipologia de sistemas de tratamento de efluentes (ST),
Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE	Aumentar para 25,5% o aproveitamento energético do lodo de ETE e ETA.	Aumentar para 38,5% o aproveitamento energético do lodo de ETE e ETA.	Aumentar para 59% o aproveitamento energético do lodo de ETE e ETA.	Volume de biogás capturado em aterros sanitários e estações de tratamento

9.2 Análise das Barreiras e Estratégias de Superação

O setor de Resíduos e Efluentes enfrenta barreiras significativas para a implementação de suas medidas de descarbonização, especialmente de caráter institucional, financeiro, tecnológico e de governança local. A precariedade dos sistemas de coleta e tratamento, a ausência de políticas locais de gestão integrada de resíduos e a baixa capacidade institucional dos municípios impedem a adoção de tecnologias como aproveitamento energético do biogás e compostagem em escala. Além disso, há barreiras relacionadas à viabilidade econômica de projetos de pequena escala, à falta de regulação específica para reuso de efluentes e ao limitado envolvimento de cooperativas em cadeias mais estruturadas de reciclagem.

Para superar essas barreiras, recomenda-se o fortalecimento dos consórcios intermunicipais, a regionalização dos sistemas de tratamento, a criação de fundos estaduais para incentivo a projetos de resíduos com benefícios climáticos e a implantação de instrumentos regulatórios que viabilizem o reuso e a valorização energética. Ações de capacitação de gestores públicos, incentivo à economia circular e integração com políticas de saneamento e saúde pública são essenciais para a efetivação das estratégias de mitigação do setor.

A seguir encontra-se o Plano de Ação elaborado para o setor de Resíduos e Efluentes.

Tabela 24 - Plano de Ação do Setor de Resíduos e Efluentes

					Prazos		
Medida de Descarbonização	Potencial de Mitigação da Medida	Ações para Implantação	Responsável*		Curto prazo (2030)	Médio prazo (2040)	Longo prazo (2050)
Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR	Até 2050, reduzir 22,2% da geração per capita de RSU, por categoria de município.	Programas de Educação Ambiental: Promover campanhas sobre consumo sustentável, reaproveitamento de materiais e alimentos, segregação e descarte adequado	SEDEST / IAT / SEED	X	X		X
		Subsídios Ambientais: oferecer incentivos fiscais para produtos reutilizáveis e com menor geração de embalagens descartáveis	SEDEST / IAT / SEFA	X	X		X
		Planejamento Ambiental: Incluir metas de redução de resíduos em planos setoriais e estimular municípios a elaborarem e implementarem planos para gestão de resíduos sólidos, com metas atreladas à redução da geração de resíduos	SEDEST / IAT	X	X		X
		Impostos e Taxas Ambientais: fomentar a utilização de taxa ou tarifas para resíduos sólidos relacionadas com a quantidade de resíduos dispostos para coleta pública	SEFA / SEDEST / IAT	X	X		X

Medida de Descarbonização	Potencial de Mitigação da Medida	Ações para Implantação	Responsável*	Prazos		
				Curto prazo (2030)	Médio prazo (2040)	Longo prazo (2050)
Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR	Até 2050, a destinação de RSU para compostagem (reciclagem de orgânicos) representa uma redução de 1,21 $MtCO_2e$.	Licenciamento Ambiental: Exigir avaliação de emissões de GEE e planos de mitigação para grandes geradores de resíduos similares aos domiciliares garantido a destinação adequada de orgânicos e recicláveis	SEDEST / IAT	X		
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais e financiamento para a iniciativa privada com vistas a impulsionar a implantação de unidades de tratamento de resíduos orgânicos para atendimento de geradores privados	SEDEST / IAT	X		
		Fomento às soluções de baixo carbono: Oferecer financiamento e suporte para municípios para implantação de pátios de compostagem, visando aproveitamento de resíduos orgânicos coletados seletivamente e resíduos verdes gerados nos serviços públicos municipais	SEFA / SEDEST / IAT	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Oferecer financiamento e suporte para municípios para implantação de centrais de triagem de recicláveis	SEFA / SEDEST / IAT	X	X	X
		Parcerias Público-Privadas: Desenvolver projetos com participação privada em conjunto com os municípios para a implantação de sistemas de reciclagem de resíduos secos	SEDEST / IAT	X	X	X
		Subsídios Ambientais: Estabelecer mecanismo para garantir preço mínimo para recicláveis	SEFA / SEDEST / IAT	X		
		Licenciamento Ambiental: Estabelecer necessidade de comprovação da Logística Reversa de Embalagens no licenciamento ambiental	SEDEST / IAT	X		
Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica)	Até 2050 deve-se evitar a emissão de 12,43 $MtCO_2e$.	Planejamento Ambiental: Implementar Microrregiões de resíduos sólidos no Estado e elaborar estudo de viabilidade para manejo de RSU das microrregiões.	SEDEST / IAT	X		
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para atendimento a microrregiões e/ou consórcios intermunicipais para implantação de sistemas de biodigestão de RSU com aproveitamento energético do biogás	SEFA / SEDEST / IAT	X	X	X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Fomentar a utilização de composto orgânico em substituição à fertilizantes sintéticos	SEFA / SEDEST / IAT	X	X	X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais e financiamento para instalação de biodigestores rurais	SEFA / SEAB / IDR	X	X	X
Implementar novos aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais) e auxiliar no encerramento de lixões	Até 2050, destinar 100% dos RSU para destinações adequadas.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para adequação da destinação de resíduos sólidos urbanos.	SEFA / SEDEST / IAT	X	X	
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar políticas públicas, incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização e a inovação no setor de resíduos sólidos.	SEDEST / IAT	X		

Medida de Descarbonização	Potencial de Mitigação da Medida	Ações para Implantação	Responsável*		Prazos		
					Curto prazo (2030)	Médio prazo (2040)	Longo prazo (2050)
Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e *flares*) em aterros sanitários	Até 2050 promoverá a mitigação de 1,87 $MtCO_2e$.	Licenciamento Ambiental: Exigir avaliação de emissões de GEE e a implementação de *flares* em aterro de pequeno porte em seu processo de renovação de licença ambiental.	SEDEST / IAT	X	X		
		Fomento às soluções de baixo carbono: Fomentar a implementação de *flares* em aterros sanitários existentes.	SEFA / SEDEST / IAT	X	X		
Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários	Até 2050, evitará a emissão de 24,9 $MtCO_2e$.	Planejamento Ambiental: Implementar Microrregiões de resíduos sólidos no Estado e elaborar estudo de viabilidade para manejo de RSU das microrregiões.	SEDEST / IAT	X			
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para adequação da destinação de resíduos sólidos urbanos.	SEFA / SEDEST / IAT	X	X		X
		Planejamento Ambiental: Incluir metas climáticas em planos regionais para tratamento de resíduos sólidos alinhando políticas públicas à neutralidade carbônica, buscando a organização para produção e utilização de biogás e biometano.	SEDEST / IAT	X	X		X
		Licenciamento ambiental: Exigir, no licenciamento ou na renovação do licenciamento ambiental, de aterros sanitários de grande porte a instalação de sistemas para aproveitamento de biogás.	SEDEST / IAT		X		X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética e tecnologias limpas, visando a utilização de biogás e biometano no setor pública.	Governadoria / Casa Civil	X			
		Planejamento Ambiental: Estabelecer polos regionais para operacionalização da produção e utilização de biogás e biometano.	SEDEST / IAT		X		X
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar políticas públicas, incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização e a inovação no setor de resíduos sólidos.	SEDEST / Casa Civil	X	X		X
Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia	Até 2050, deverá evitar a emissão de 0,61 MtCO2e	Licenciamento Ambiental: Exigir avaliação de emissões de GEE e a implementação de sistemas de tratamento de resíduos com aplicação de calor.	SEDEST / IAT	X			
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para adequação da destinação de resíduos sólidos urbanos.	SEDEST / IAT	X	X		
Aumentar o percentual de cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes	Até 2050, aumentar a cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes para 99% da área urbana e periurbana do Paraná.	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para adequação dos sistemas de coleta de tratamento de efluentes.	SEFA / SEDEST / SECID	X	X		X
		Parcerias Público-Privadas: Desenvolver projetos de infraestrutura sustentável com participação privada.	SEFA / SEDEST / Casa Civil	X	X		X
		Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e *accountability*.	SEDEST / IAT	X	X		X

Medida de Descarbonização	Potencial de Mitigação da Medida	Ações para Implantação	Responsável*		Prazos		
					Curto prazo (2030)	Médio prazo (2040)	Longo prazo (2050)
Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos.	Até 2050, deverá evitar a emissão de 1,4 $MtCO_2e$.	Monitoramento e Fiscalização: Acompanhar o cumprimento das metas climáticas por meio de sistemas de medição, relatórios periódicos e inspeções, garantindo transparência e *accountability*.	SEDEST / IAT		X		X
		Indicadores Ambientais: Definir estratégia para monitoramento do progresso da medida.	SEDEST / IAT	X			
		Normas de Qualidade Ambiental: Definir padrões de qualidade do ar e solo que tornem mais restrita a emissão de compostos associados a GEE.	SEDEST / IAT		X		X
Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos	Até 2050, aumentar a cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes	Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para implementação de sistema de biodigestão para tratamento de resíduos orgânicos,	SEFA / SEDEST / Casa Civil	X	X		X
		Planejamento Ambiental: Incluir metas climáticas em planos regionais para tratamento de efluentes alinhando políticas públicas à neutralidade carbônica, buscando a organização para produção e utilização de biogás e biometano.	SEFA / SEDEST / Casa Civil	X	X		X
		Licenciamento ambiental: Exigir, no licenciamento ou na renovação do licenciamento ambiental, de estações de tratamento de efluentes de grande porte a instalação de sistemas para aproveitamento de biogás.	SEDEST / IAT		X		X
		Subsídios Ambientais: Oferecer incentivos fiscais ou financiamento para energias renováveis, eficiência energética e tecnologias limpas, visando a utilização de biogás e biometano no setor pública.	SEFA / SEDEST / Casa Civil		X		X
		Planejamento Ambiental: Estabelecer polos regionais para operacionalização da produção e utilização de biogás e biometano.	SEDEST / IAT	X			
		Fomento às soluções de baixo carbono: Priorizar políticas públicas, incentivos e licenciamentos para projetos alinhados à descarbonização e a inovação no setor de resíduos sólidos.	SEDEST / Casa Civil		X		X

**O Grupo Gestor será o responsável pelo acompanhamento das metas. Os órgãos indicados são sugestões de apoio ao grupo*

9.3 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)

O sistema de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) para o setor de Resíduos e Efluentes foi desenvolvido para acompanhar a efetividade das ações de mitigação relacionadas à gestão de resíduos sólidos e ao tratamento de efluentes líquidos. A estrutura do MRV contempla dados operacionais dos serviços municipais, volume e tipo de resíduos destinados, tecnologias de tratamento e disposição, aproveitamento energético do biogás, e indicadores de desempenho ambiental das estações de tratamento de esgoto

9.3.1 Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs)

Os indicadores selecionados para o MRV do setor de Resíduos e Efluentes consideram a redução de metano, eficiência do tratamento, ampliação da compostagem e integração com ações de economia circular.

A seguir encontra-se a tabela com os indicadores propostos para o setor de Resíduos e Efluentes.

Tabela 25 - Indicadores de Monitoramento para as medidas de Resíduos e Efluentes

Medida	Indicador Proposto	Unidade	Frequencia
Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR	Geração média per capita de resíduos sólidos	kg / hab.dia	Anual
Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR	Taxa de recuperação de materiais recicláveis (exceto matéria orgânica e rejeitos) em relação à quantidade total (RDOa + RPUb) coletada	%/ano e ton/ano	Anual
	Quantidade de resíduos encaminhados a compostagem anualmente	M³/ano ou t/ano	Anual
Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR; Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica)	Taxa de recuperação de materiais orgânicos em relação à quantidade total (RDOa + RPUb) coletada	%/ano e ton/ano	Anual
Implementar novos aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais e estações de transbordo) e auxiliar no encerramento de lixões	Volume de resíduos sólidos destinados à locais adequados, com licenças válidas ou em processo de renovação em conformidade com Resolução CEMA nº 107/2020	M³/ ano ou t/ano	Anual
Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia	Resíduos sólidos (t) destinados ao tratamento por rotas térmicas no Paraná	toneladas / tecnologia ano	Anual
Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR.	Taxa de geração per capita de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU por porte de município	kg / hab.ano	Anual
Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos e Aumentar o percentual de	Percentual da população atendida por cada tipologia de sistemas de tratamento de efluentes (ST)	% de habitantes / ano	Anual
cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes	Índice de Atendimento com Rede Coletora de Esgotos (IARCE Urbano)	% /ano	Anual

Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e flares) em aterros sanitários; Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais; e Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE	Volume de biogás capturado em aterros sanitários e estações de tratamento	m³/ano	Anual
Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e flares) em aterros sanitários; Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais	Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com sistemas de flares.	t/ano	Anual
mplementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais	Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com aproveitamento de biogás	t/ano	Anual

9.3.2 Fontes de Dados

As informações para MRV no setor de Energia serão provenientes de sistema oficial do estado ou outro designado pelo grupo gestor, podendo contar com fontes de informação recomendadas, como:

- Empresas de Saneamento;
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;
- SANEPAR;
- Plataforma Contabilizando Resíduos;
- Dados de medição e aproveitamento energético do biogás.

9.3.3 Governança do MRV

A governança do MRV de Resíduos e Efluentes caberá ao Grupo Gestor com apoio das seguintes instituições:

- SEDEST;
- Secretaria do Desenvolvimento Urbano e de Obras Públicas (SEDU);
- SANEPAR e consórcios intermunicipais;
- Ministério das Cidades (articulação com o SNIS);
- Universidades e institutos tecnológicos.

A Plataforma Estadual deverá possibilitar análises por tipo de resíduo, tecnologia empregada e desempenho operacional dos sistemas de tratamento e destinação.

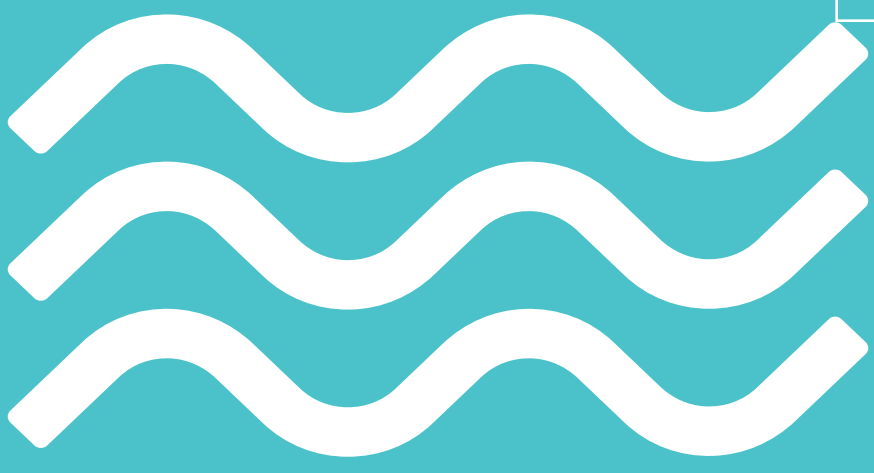
9.4 Custos de Implementação

A partir de dados de custo de abatimento e do potencial de mitigação previstos, as medidas foram organizadas de forma a retratar os custos previstos para sua implementação no Estado do Paraná. Custos negativos[6] indicam economia líquida ao adotar a medida.

Tabela 26 - Síntese dos custos por medida para o Setor de Resíduos e Efluentes (em Milhões de R$)

Medida	Custos até 2030	Custos (2031-2040)	Custos (2041-2050)
Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR (Compostagem)	R$ -	-R$ 2,36	-R$ 25,97
Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia	R$ -	R$ 20,39	R$ 84,94
Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica) (Biodigestão)	R$ -	R$ 34,04	R$ 129,34
Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e flares) em aterros sanitários	R$ 0,89	R$ 1,20	R$ 0,16
Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais	-R$ 7,61	-R$ 15,54	-R$ 44,34
Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE	R$ 2,24	R$ 16,80	R$ 38,23
TOTAL DO SETOR	**-R$ 4,47**	**R$ 54,53**	**R$ 182,36**

[6] *Custo de abatimento de carbono de valor negativo significa que a redução da emissão de carbono produz um benefício financeiro, ou seja, a implementação da medida de descarbonização economiza dinheiro ou até mesmo gera lucro.*



10 Propostas de Fomento e Financiamento

A viabilização das ações propostas no PEDEP exige a articulação de instrumentos financeiros e mecanismos de apoio econômico que garantam escalabilidade, atratividade e viabilidade de investimentos em tecnologias e práticas de baixo carbono. A estrutura de fomento considera diferentes perfis setoriais e abrange incentivos fiscais, crédito climático, parcerias público-privadas e mecanismos de mercado.

Os instrumentos propostos podem ser divididos da seguinte maneira:

1. **Incentivos fiscais estaduais**

   - **ICMS Verde-Industrial:** modulação de alíquota para setores que adotarem medidas de descarbonização (ex: substituição de combustíveis fósseis, CCUS, eficiência energética);
   - **Crédito presumido:** aplicação para aquisição de equipamentos com selo de eficiência energética ou certificação ambiental;
   - **Renúncia fiscal condicionada:** vinculação a metas de redução de emissões comprovadas por inventários.

2. **Linhas de financiamento verde**

   - **Fomento Paraná e BRDE:** estruturação de linhas de crédito com taxas reduzidas para tecnologias prioritárias por setor;
   - **Conexão com fundos federais:** BNDES Fundo Clima, FINEP Inova Sustentabilidade, Plano Safra Verde;
   - **Paraná Mais Sustentável:** proposta de programa estadual de financiamento cruzado para cooperativas, pequenas e médias empresas, e agricultura familiar.

3. **Instrumentos de risco e garantias**

   - **Fundos garantidores e seguros climáticos:** especialmente para projetos com elevado CAPEX e risco tecnológico, como CCUS e biodigestão em larga escala;
   - **Subvenções cruzadas:** aplicação de receitas de concessões estaduais para subsidiar programas de mitigação nos municípios.

4. **Parcerias público-privadas (PPPs) e concessões**

   - **Viabilização de projetos de infraestrutura com benefícios climáticos diretos, como:**
     - Transporte público elétrico;
     - Aterros com aproveitamento energético;
     - Sistemas de recirculação de água e reaproveitamento de resíduos industriais.

5. **Acesso a financiamento internacional**

   - **Engajamento com fundos multilaterais:** GEF, GCF, NAMA Facility, Climate Investment Funds;
   - **Projeto-piloto estadual para captação direta com base no portfólio de ações do PEDEP, com apoio de instituições como o Banco Mundial, CAF e KfW**.

6. **Articulação com mercados de carbono**

   - **Preparação para inserção das ações setoriais no Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE);**
   - **Proposta de regulamentação estadual para programas de compensação voluntária e criação de lastro em projetos locais (biogás, reflorestamento, eficiência industrial).**

No que diz respeito à estruturação operacional, recomenda-se a criação de um Comitê Gestor Estadual de Financiamento Climático, com o objetivo de articular os diferentes instrumentos de fomento e garantir coerência entre linhas de crédito, incentivos e metas do PEDEP. Este comitê seria composto por:

- SEFA, SEDEST, Fomento Paraná, BRDE, SEIL, IAT e IPARDES;

Seu intuito seria, ainda, de atuar na elaboração de critérios de elegibilidade técnica e ambiental para projetos financiáveis, compatíveis com a taxonomia verde nacional (CBIOs, critérios do BNDES etc.).

11 Instrumentos de Política Pública

A implementação do PEDEP requer a mobilização de um conjunto articulado de instrumentos de política pública que assegurem o alinhamento entre regulação, planejamento, gestão, financiamento e inovação.

Esses instrumentos foram organizados segundo uma tipologia funcional.

1. **Instrumentos de Comando e Controle**

   - **Licenciamento ambiental climático:** incorporação de critérios de emissões de GEE e eficiência energética nas licenças de operação e instalação;
   - **Regulamentação técnica:** criação de normas estaduais para padrões mínimos de desempenho energético e emissões por setor;

- **Fiscalização e auditoria:** fortalecimento da capacidade institucional do IAT para monitoramento setorial de emissões em processos industriais, resíduos e energia;
- **Sanções e condicionantes ambientais:** vinculação de incentivos a cumprimento de metas de redução.

2. **Instrumentos Econômico-Financeiros**

- **Incentivos fiscais e tarifários:** ICMS Verde**,** crédito presumido e isenções para tecnologias de baixo carbono;
- **Linhas de crédito verde e garantias públicas:** Fomento Paraná, BRDE, Fundo Clima;
- **Precificação de carbono:** integração futura ao Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE);
- **Pagamentos por serviços ambientais (PSA):** voltados para restauração florestal, compostagem e reflorestamento urbano.

3. **Instrumentos de Gestão e Governança**

- **Planos setoriais e municipais de mitigação:** integração dos PMGIRS, planos de mobilidade urbana e planos de energia;
- **Acordos setoriais voluntários:** com indústrias e associações empresariais para cumprimento de metas progressivas;
- **Capacitação técnica:** programas contínuos para operadores de plantas industriais, cooperativas, consórcios e servidores públicos;
- **Educação ambiental climática:** inclusão do tema nas redes estadual e municipais de ensino.

4. **Instrumentos de Planejamento e Ordenamento**

- **Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE):** integração de critérios de emissões e vulnerabilidade climática;
- **Avaliação Ambiental Estratégica (AAE):** aplicável a políticas públicas e grandes investimentos estaduais;
- **Plano Diretor Climático:** recomendação para inclusão obrigatória nos Planos Diretores Municipais em áreas urbanas com mais de 50 mil habitantes.

5. **Outros Instrumentos Regulatórios e Inovadores**

- **Normas técnicas e certificações ambientais:** desenvolvimento de selos estaduais de eficiência energética e baixo carbono;
- **Plataforma estadual de MRV:** sistema digital de indicadores e reporte dos setores;

- **Inovação regulatória:** fomento a tecnologias emergentes via sandbox regulatório em parceria com universidades e startups;
- **Mecanismos de compartilhamento de créditos de carbono:** modelo de arranjos jurídicos para repartição de receitas entre agentes públicos e privados em projetos conjuntos de mitigação.

12 Mercado de Carbono

O Paraná vem se posicionando estrategicamente como protagonista na agenda climática nacional, com metas ambiciosas de neutralidade de carbono até 2050. Neste contexto, o PEDEP estabelece um conjunto de diretrizes e instrumentos para viabilizar a descarbonização da economia estadual. Em alinhamento a isso, propõe-se a criação de um mecanismo estadual para compartilhamento de créditos de carbono, visando integrar pequenos e médios empreendedores ao mercado, ampliar a geração de créditos certificados e estruturar sua comercialização de forma centralizada e eficiente.

Neste contexto, foi realizado um estudo com objetivo central de contribuir para o amadurecimento do mercado estadual de carbono, promovendo visibilidade ao compromisso climático do Paraná, estimulando iniciativas locais de redução ou remoção de emissões, e viabilizando a geração e comercialização de créditos de carbono por meio de arranjos institucionalizados. A partir de uma abordagem técnico-jurídica e mercadológica, foi formulada uma proposição de estrutura de governança robusta, com diretrizes para certificação, comercialização, transparência e compliance ajustada à realidade institucional do Estado do Paraná. Como premissa central, assume-se que o mecanismo deverá atuar inicialmente no mercado voluntário de carbono, mas com adaptabilidade futura ao Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE).

Com isso, propõe-se dois arranjos principais para implementação:

- **Modelo 1:** *Fundo de Investimento em Participações (FIP)* com investimento em Sociedade Anônima (S.A.) dedicada à operacionalização do mecanismo. Essa estrutura atrai investidores privados, oferece liquidez e garante compliance regulatório.
- **Modelo 2 e 3:** Alternativamente, a estrutura operacional pode ser formada por uma S.A. com participação minoritária do Estado, uma Fundação Pública de Direito Privado ou um Serviço Social Autônomo, com gestão sem fins lucrativos e reinvestimento do superávit em ações de descarbonização.

Ambos os modelos preveem apoio técnico aos geradores de crédito, bem como centralização da certificação e comercialização dos créditos de carbono. São incorporadas também a ambos os modelos possíveis parcerias com certificadoras reconhecidas nacional e internacionalmente (Verra/VCS, Gold Standard, ART TREES, Cercarbono, Socialcarbon, entre outras) e monitoramento, relato e governança transparente.

No que diz respeito às estratégias para geração e comercialização dos créditos, recomenda-se:

- Foco inicial no mercado voluntário, com adoção de certificadoras líderes e consolidadas;
- Seleção de projetos com maior potencial de redução de emissões, especialmente nos setores AFOLU e Energia (que representam aproximadamente 90% das emissões no estado). Entre os possíveis projetos de créditos de carbono (CDR – Carbon Dioxide Removal) do setor AFOLU estariam reflorestamento (ARR), Agricultura regenerativa (ALM) e Conservação florestal através de criação de unidades de conservação públicas e privadas;
- Atração ativa e passiva de geradores de crédito de carbono, incluindo pequenos produtores e cooperativas;
- Agrupamento territorial de projetos para reduzir custos de certificação;
- Utilização de plataformas como o Hub de Projetos do PEDEP e a Invest Paraná para promoção e negociação dos créditos;
- Exploração de demanda cativa do próprio governo estadual, por exemplo, como contrapartida em concessões ou compensações ambientais.

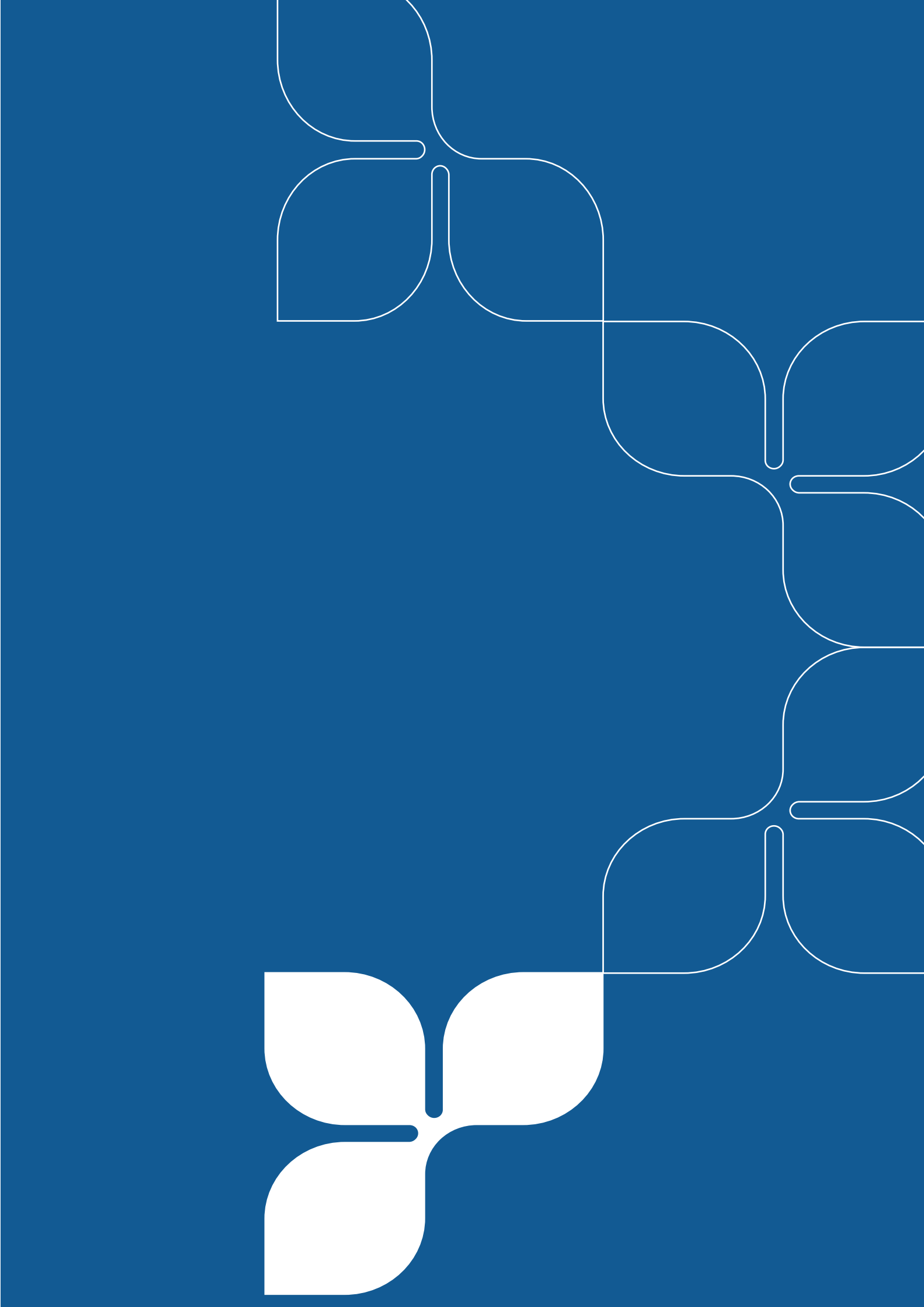
A governança deste mecanismo demanda uma estrutura profissional de comercialização, com regras claras de remuneração dos geradores. É necessário contar ainda com comitês de gestão e auditoria, bem como consultorias técnicas para a certificação e prospecção de projetos.

Esta governança bem estruturada ajuda a lidar com desafios como a incerteza regulatória, sobretudo com a futura regulamentação do SBCE, a complexidade tributária e risco jurídico nas estruturas pública e a volatilidade de preços no mercado voluntário e baixa previsibilidade de demanda.

O Paraná possui condições legais, técnicas e institucionais para se tornar referência nacional em geração de créditos de carbono. Para isso, recomenda-se:

- Estruturar e implementar o modelo FIP + S.A. ou Fundação/SSA como estrutura administrativa;
- Engajar stakeholders desde a fase inicial, com consulta pública e roadshows;
- Iniciar com um projeto-piloto, ajustando os processos antes da expansão;
- Monitorar ativamente os desdobramentos do SBCE, para futura integração ao mercado regulado.

Com isso, o Paraná pode criar um mecanismo financeiramente sustentável, tecnicamente robusto e socialmente inclusivo, contribuindo de forma decisiva para a descarbonização da economia brasileira.



Considerações Finais



O PEDEP consolida uma estratégia técnica, política e institucional robusta para a descarbonização da economia paranaense até 2050. Estruturado com base em análises setoriais aprofundadas, modelagem de cenários prospectivos e aplicação de avaliações multicritério, o plano articula metas ambiciosas com ações de descarbonização ou redução de emissões de GEE, respeitando a realidade socioeconômica e territorial do estado.

A abordagem transversal do plano possibilita a seleção de 50 medidas prioritárias de descarbonização distribuídas entre os setores mais representativos das emissões de GEE do estado, como: AFOLU, Energia, Transportes, IPPU e Resíduos e Efluentes. Cada medida de descarbonização foi avaliada quanto ao seu potencial de abatimento, custo marginal, maturidade tecnológica, impactos socioambientais e alinhamento com políticas públicas vigentes. Como resultado, o PEDEP apresenta uma trajetória de emissões líquidas negativas até 2050, com destaque para o papel estratégico do setor AFOLU como sumidouro líquido de carbono e para a viabilidade de um Estado carbono-neutro.

Além disso, o plano está plenamente alinhado aos compromissos internacionais assumidos pelo Paraná, como as campanhas Race to Zero e Race to Resilience da ONU, e se insere no marco legal da Política Estadual sobre Mudança do Clima (Lei nº 17.133/2012). A articulação institucional envolveu órgãos técnicos do Governo do Estado, especialistas setoriais e da academia, garantindo acurácia e coerência na formulação das medidas.

A modelagem de cenários revelou que, caso implementadas plenamente as medidas de descarbonização do Cenário Net Zero, o Paraná poderá alcançar uma redução de 51,75 $MtCO_2e$ até 2050 em relação ao cenário de referência. A economia estadual não apenas atingiria a neutralidade carbônica como se tornaria um potencial absorvedor de carbono. Os principais destaques por setor incluem:

- **AFOLU:** aumento de 170% na capacidade de sequestro líquido de carbono, totalizando -27,22 $MtCO_2e$ em 2050, com destaque para reflorestamento, sistemas integrados e recuperação de pastagens.
- **Energia:** redução de 90,2% das emissões com foco em biometano, cogeração com bagaço de cana, eficiência energética e hidrogênio verde.
- **Transportes:** corte de 53,4% nas emissões, com ampla eletrificação da frota, uso de biocombustíveis avançados e reestruturação logística.
- **IPPU:** redução de 41,2% com ênfase em captura de carbono (CCUS), melhorias na eficiência térmica e uso de matérias-primas alternativas.
- **Resíduos e Efluentes:** mitigação de 60,8%, com destaque para aproveitamento energético de biogás e expansão da compostagem descentralizada.

Esses avanços só serão possíveis mediante a execução coordenada das ações previstas nos planos setoriais, que detalham metas temporais (curto, médio e longo prazo), indicadores de desempenho (KPIs), custos estimados, mecanismos de financiamento e instrumentos regulatórios habilitadores.

O plano também inova ao propor um mecanismo estadual de mercado de carbono, com estrutura técnica e jurídica para viabilizar a geração, certificação e comercialização de créditos,

principalmente nos setores de agricultura e energia. Com isso, cria-se uma janela de oportunidade para alavancar investimentos privados e incluir pequenos produtores e cooperativas em cadeias de valor climáticas.

A efetividade do PEDEP dependerá diretamente da capacidade de mobilização intersetorial e da institucionalização de sua governança. Para isso, recomenda-se:

- Criação de um **Comitê Gestor Estadual de Descarbonização**, com representação multissetorial e competências claras para coordenação, avaliação e articulação com outros níveis de governo;
- Regulamentação dos instrumentos de comando e controle, incluindo licenciamento ambiental climático, critérios de eficiência energética e sanções vinculadas ao desempenho de emissões;
- Estruturação de linhas de financiamento verde via Fomento Paraná, BRDE, e acesso a fundos federais e multilaterais (GEF, GCF, Fundo Clima);
- Lançamento da **Plataforma Estadual de Monitoramento da Descarbonização**, garantindo transparência, interoperabilidade de dados e atualização contínua dos KPIs;
- Estabelecimento de acordos setoriais com metas vinculadas a incentivos fiscais, programas de capacitação e estímulo à inovação tecnológica.

Em paralelo, será fundamental manter a articulação com os municípios paranaenses, viabilizando a descentralização das ações e a internalização das metas nos Planos Diretores, PMGIRS e instrumentos locais de mobilidade e saneamento. A cooperação federativa será igualmente essencial para garantir alinhamento com a regulamentação nacional do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) e integração com políticas setoriais federais.

O Plano Estadual de Descarbonização da Economia Paranaense simboliza mais do que um compromisso formal com a agenda climática — trata-se de um verdadeiro roteiro estratégico, tecnicamente embasado e operacionalmente viável, para guiar a transição do estado rumo a uma economia de baixo carbono, resiliente e competitiva.

Por fim, o sucesso do PEDEP dependerá da continuidade política, da maturidade institucional e da capacidade de coordenação entre entes públicos, setor privado e sociedade civil.

Referências Técnicas e Bibliográficas[7]

ARSP-ES. Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo. **Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo – 2050**. Vitória: ARSP, 2024. Disponível em: https://arsp.es.gov.br/energia/planodescarbonizacao. Acesso em: 30 jul. 2025

BRASIL (2024). LEI Nº 14.902, DE 27 DE JUNHO DE 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14902.htm

BRASIL, 1981 - LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em mai. 2025

BRASIL. **Legislação sobre incentivos fiscais.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022a.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Dispõe sobre o marco legal da geração distribuída de energia elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022b.

BRASIL. **Leis e programas federais para energias renováveis.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022c.

BRASIL. **Políticas energéticas e programas federais.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022d.

Climate Action Tracker. Climate Analytics; NewClimate Institute. **Climate Action Tracker: A Global Assessment of National Climate Commitments.** Berlin: Climate Analytics; Cologne: NewClimate Institute, 2024. Disponível em: https://climateactiontracker.org/. Acesso em: 30 jul. 2025.

GHG PROTOCOL. World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.** Washington, DC: WRI & WBCSD, 2004. Disponível em: https://ghgprotocol.org/corporate-standard. Acesso em: 30 jul. 2025.

GREEN CLIMATE FUND (GCF). **Biogas and rural energy projects.** 2025c. Disponível em: https://www.greenclimate.fund. Acesso em: 28 maio 2025.

GREEN CLIMATE FUND (GCF). **Creating clean energy from waste.** Incheon: GCF, 2023a. Disponível em: https://www.greenclimate.fund/video/creating-clean-energy-waste. Acesso em: 28 maio 2025.

GREEN CLIMATE FUND (GCF). **Projetos de biocombustíveis.** 2025d. Disponível em: https://www.greenclimate.fund. Acesso em: 28 maio 2025.

GREEN CLIMATE FUND (GCF). **Projetos de eficiência energética.** 2025e. Disponível em: https://www.greenclimate.fund. Acesso em: 28 maio 2025.

GREEN CLIMATE FUND (GCF). **Projetos de energia renovável.** 2025f. Disponível em: https://www.greenclimate.fund. Acesso em: 28 maio 2025.

IPCC. 2006 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/. Acesso em: 30 jul. 2025.

[7] *São apresentadas aqui as principais referências consultadas ao longo da elaboração do PEDEP, dentre documentos do Estado do Paraná, documentos nacionais e de outros estados, e referências internacionais. Demais referências encontram-se listadas nos produtos específicos.*

IPCC. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2019. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/. Acesso em: 30 jul. 2025.

MCTI. **Resultados do inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa por unidade federativa**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), 2022a. Disponível em: https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4967. Acesso em: 19 mar. 2025.

MCTI. **Resultados do inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa por unidade federativa.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), 2022a. Disponível em: https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4967. Acesso em: 19 mar. 2025.

PAC-PR, 2023. **Plano de Ação Climática 2024-2050: Ações e Metas.** Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/PAC-PR%20-%20Volume%202%20-%20A%C3%A7%C3%B5es%20e%20Metas_1.pdf Acesso em: setembro de 2024.

PAC-PR, 2023. **Plano de Ação Climática 2024-2050: Diagnóstico**. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/PAC-PR%20-%20Volume%201%20-%20Diagn%C3%B3stico.pdf Acesso em: setembro de 2024.

PAC-PR, 2023. **Plano de Ação Climática 2024-2050: Inventário de Emissões**. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-08/

PAC-PR%20-%20Invent%C3%A1rio%20de%20Emiss%C3%B5es_0.pdf Acesso em: setembro de 2024.

PARANÁ. **PAC-PR: Plano Estadual de Ação Climática 2024-2050 – Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa - 2005 a 2019.** Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2023a.

PARANÁ. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná** – PERS/PR. 2021. Disponível em:<https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-09/PERS%20-%20Sintese%20Final%20V3.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SBTI. Science Based Targets initiative. Science Based Targets: Companies taking action. London: SBTi, 2021. Disponível em: https://sciencebasedtargets.org/. Acesso em: 30 jul. 2025.

SEMAS PE. **Plano de Descarbonização de Pernambuco. Recife: Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco** (SEMAS PE), 2022. Disponível em: https://semas.pe.gov.br/pernambuco-carbono-neutro/. Acesso em: 30 jul. 2025.

SIRENE. **Fatores de emissão MDL/SIN.** 2023a. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao. Acesso em: 2 abr. 2025.

VCS (2023). **VCS Standard.** Disponível em: https://ecconsa.com.br/wp-content/uploads/2023/07/VCS-Standard-v4.4-FINAL-jan-2023.pdf

Produtos do PEDEP Gerados

PARANÁ. 2025. RL Produto 4 – Relatório de Assessoria e Avaliação dos Inventários de GEE do Estado do Paraná Propostos – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025a. RL Produto 6 – Relatório de Modelagem de Cenários – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025b. RL Produto 7 – Análise Multicritério das Soluções de Baixo Carbono no PR – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025b. RL Produto 8 – Análise das Barreiras e Entraves às Soluções de Baixo Carbono no PR – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025c. RL Produto 9 – Relatório de Avaliação de Programas Existentes e Ações em Andamento no Paraná – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025d. RL Produto 10 – Proposta de Instrumentos de Política Pública para Implementar Soluções Tecnológicas de Descarbonização: Relatório Consolidado, Versão 1 – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

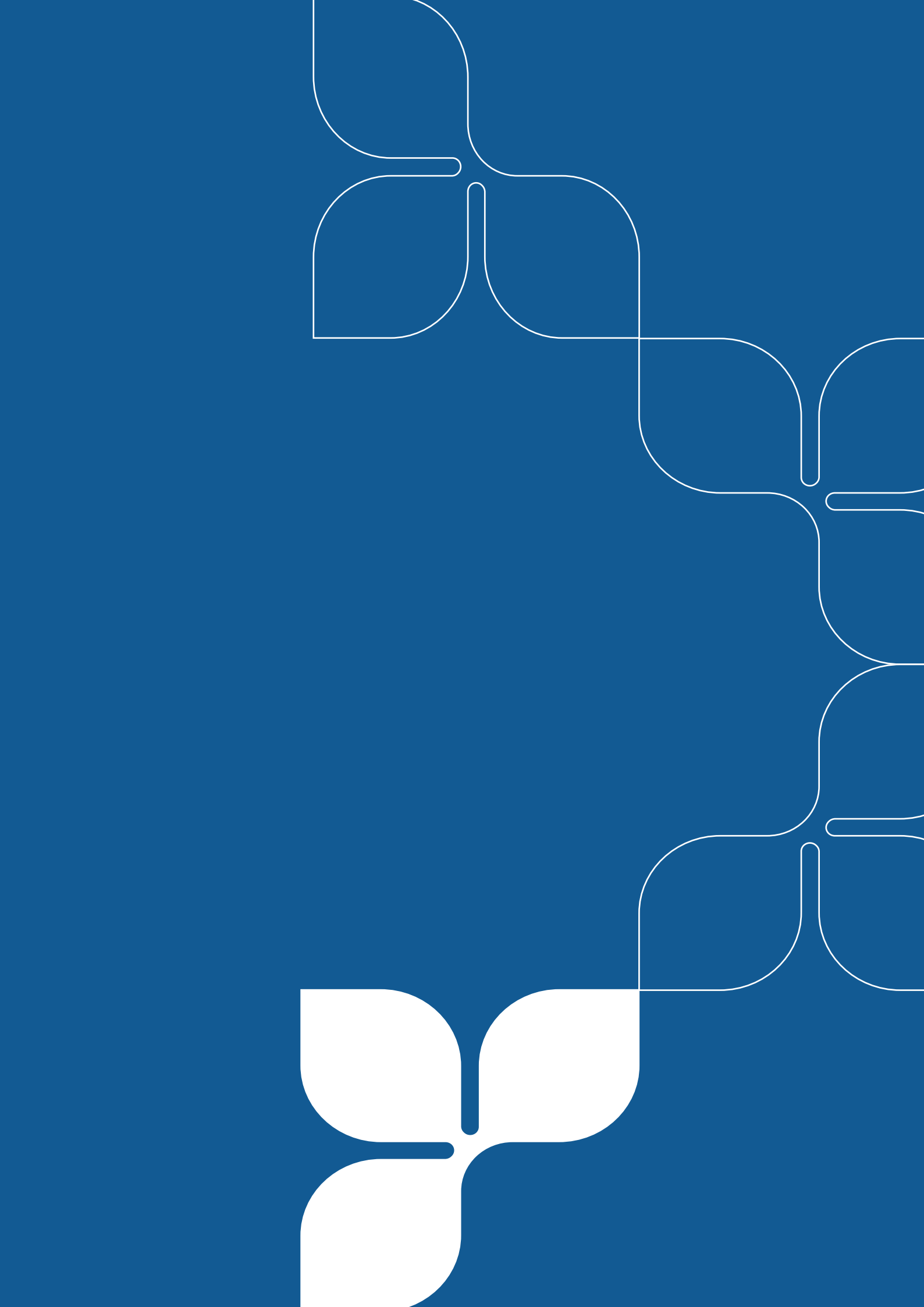
PARANÁ. 2025e. RL Produto 11 – Metas e Ações de Descarbonização – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025f. RL Produto 12 – Relatório de Análise das Limitações e Desafios por Estratégia – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025g. RL Produto 13 – Relatório de Monitoramento e Indicadores – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025h. RL PRODUTO X – Relatório de Propostas de Fomento Regulatórias, Legais e Econômico Financeiras – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.

PARANÁ. 2025i. RL PRODUTO Y – Relatório sobre Mecanismos de Compartilhamento de Créditos de Carbono – PEDEP. Curitiba: Fundação São Francisco de Assis.



Apêndices

Os apêndices do PEDEP contêm informações complementares de natureza técnica, metodológica e operacional, que apoiam a compreensão e a implementação das ações propostas. Estão organizados conforme segue:

Apêndice A – Fichas técnicas das medidas priorizadas por setor

Setor	Medida	Potencial de Mitigação $MtCO_2e$ (2025 a 2050)	Custos de Abatimento (US/tCO_2$)	Indicadores utilizados
AFOLU	Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano	172,38	4,86	Volume anual de dejetos tratados por biodigestores, conforme constar no licenciamento ambiental.
	Restaurar vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP); Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL); e Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	20,26	12,11	Área (ha) de restauração de vegetação nativa no estado do Paraná
	Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais	7,57	- 329,25	Área ocupada por sistemas agroflorestais
	Aumentar a área ocupada por sistemas integrados	38,59	- 2.599,02	Área manejada por sistemas de integração
	Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável	106,60	- 0,50	Área ocupada por florestas plantadas com certificado por produção sustentável
	Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)	39,08	- 480,81	Área com sistemas de plantio direto de grãos (SPDG) qualificado
	Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR	0,01	1,77	Área (ha) protegida no estado do Paraná
	Reduzir o desmatamento ilegal	11,78	1,63	Emissões oriundas do desmatamento ($MtCO_2e$ / ano); Área (ha) de desmatamento ilegal.
Energia	Expansão da geração elétrica a biomassa e cogeração com bagaço	44,85	- 52,70	Geração total de eletricidade / Capacidade instalada
	Expansão da geração elétrica a partir de biogás e biometano	1,75	- 95,00	Geração total de eletricidade / Capacidade instalada; Eficiência Energética; Teor energético

Setor	Medida	Potencial de Mitigação $MtCO_2e$ (2025 a 2050)	Custos de Abatimento (US/tCO_2$)	Indicadores utilizados
	Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH)	14,00	144,36	Volume de biometano processado
	Aproveitamento de resíduos industriais para geração de energia	14,15	79,56	Quantidade de resíduos industriais utilizados / Geração total de eletricidade
	Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais Eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência	0,78	- 271,62	Redução no consumo de energia
	Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia	13,96	- 82,50	Redução no consumo de energia
	Aumento da produção de biogás com resíduos animais	8,44	- 180,00	Produção de biogás; Teor energético
	Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável	21,77	1.578,52	Volume de Hidrogênio Renovável produzido; Intensidade de Emissões de GEE; Eficiência Energética; Consumo de Água; Pegada de Carbono no Ciclo de Vida; Rastreabilidade da Energia Utilizada
	Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis	25,85	8,93	Volume de biocombustíveis e combustíveis renováveis
Transportes	Incentivar o uso de transportes alternativos (ativo)	2,71	- 74,34	Tamanho da malha cicloviária do estado; Quantidade de bicicletários; Cidades e rodovias com sistemas de STI
	Ampliação do uso de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis - biocombustíveis líquidos (etanol)	64,14	- 34,02	Oferta de etanol

Setor	Medida	Potencial de Mitigação $MtCO_2e$ (2025 a 2050)	Custos de Abatimento (US/tCO_2$)	Indicadores utilizados
	Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão – individual motorizado	17,18	- 8,81	Quantidade de carregadores disponíveis e ativos; Total de energia demanda por ano pelo uso dos carregadores da BR 277
	Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	12,03	0,20	Vendas de derivados do petróleo
	Ampliação do uso de biocombustíveis e combustíveis sustentáveis - biocombustíveis líquidos (Biodiesel)	25,64	3,60	Percentual de mistura regulamentada de biodiesel no diesel mineral; Número de usinas produtoras de biodiesel; Oferta de biodiesel; Casos de mistura B100 em frota cativa
	Incentivo ao uso de Biometano	1,47	20,57	Percentual de mistura regulamentada de Biometano no Gás Natural; Número de usinas de que produzem Biometano; Oferta de Biometano;
	Promover o uso de veículos elétricos, utilizando o Estado como principal fomentador (transporte público)	8,42	27,71	Frota intermunicipal de ônibus elétricos; Frota pública estadual de veículos alternativos (Por exemplo, elétricos e híbridos) do Governo do Estado do Paraná
	Promover o uso de modo menos emissor (transporte hidroviário)	3,91	44,89	Atividade de transporte da navegação interior e cabotagem
	Incentivo ao uso de Diesel verde	51,39	62,50	Percentual de mistura regulamentada de diesel verde no diesel mineral; Número de usinas de que produzem diesel verde; Oferta de diesel verde

Setor	Medida	Potencial de Mitigação $MtCO_2e$ (2025 a 2050)	Custos de Abatimento (US/tCO_2$)	Indicadores utilizados
	Incentivo ao uso de Sustainable Aviation Fuel (SAF)	4,70	62,50	Percentual de mistura regulamentada de SAF no querosene; Número de usinas de que produzem SAF; Oferta de SAF
	Promover o uso de modo menos emissor (transporte ferroviário)	19,97	581,20	Atividade de transporte de sistemas ferroviários do estado
IPPU	Melhorias no sistema de combustão (cimento)	0,69	- 47,30	Redução das emissões específicas de CO_2 na combustão
	Adição de carboneto de escória (cimento)	1,79	- 69,30	Proporção de carboneto de escória utilizada na produção de clínquer
	Sistema de controle avançado (aço)	0,03	- 330,35	Redução no consumo de energia por tonelada de aço produzido
	Preaquecimento da sucata (aço)	0,07	- 281,49	Redução no consumo de energia por tonelada de sucata processada
	Queimadores oxy-fuel (aço)	0,04	- 132,90	Redução no consumo de combustível e emissões específicas de CO_2
	CCUS Cimento	12,66	114,00	Volume de CO_2 capturado e reutilizado ou armazenado
	CCUS Cal	3,36	114,00	
	CCUS química	10,55	114,00	
	Processo por via seca com múltiplos estágios de preaquecedores e pré-calcinadores (cimento)	1,62	80,00	Eficiência térmica do forno

Setor	Medida	Potencial de Mitigação $MtCO_2e$ (2025 a 2050)	Custos de Abatimento (US/tCO_2)	Indicadores utilizados
Resíduos e Efluentes	Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR (Compostagem)	1,20	- 4,31	Taxa de recuperação de materiais recicláveis (exceto matéria orgânica e rejeitos) em relação à quantidade total (RDOa + RPUb) coletada; Taxa de recuperação de materiais orgânicos em relação à quantidade total (RDOa + RPUb) coletada; Quantidade de resíduos encaminhados a compostagem anualmente
	Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia	0,62	31,02	Resíduos sólidos (t) destinados ao tratamento por rotas térmicas no Paraná
	Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica) (Biodigestão)	12,43	2,40	Taxa de recuperação de materiais orgânicos em relação à quantidade total (RDOa + RPUb) coletada
	Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e flares) em aterros sanitários	1,87	0,22	Volume de biogás capturado em aterros sanitários e estações de tratamento; Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com sistemas de flares.
	Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais	26,79	- 0,46	Volume de biogás capturado em aterros sanitários e estações de tratamento; Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com aproveitamento de biogás; Quantidade de resíduos destinados à aterros sanitários com sistemas de flares.
	Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE	11,49	0,91	Volume de biogás capturado em aterros sanitários e estações de tratamento

Apêndice B – Matriz SWOT das medidas setoriais

AFOLU

Tabela 27 - Análise SWOT para estratégia "Mitigar a emissão de Carbono decorrentes de atividades agropecuárias".

Estratégia	**Mitigar a emissão de Carbono decorrentes de atividades agropecuárias**
Medidas de descarbonização	"Aumentar o volume manejado de dejetos animais para produção de composto, biogás e biometano" e "Aumentar a fiscalização e penalização para reduzir a queima de resíduos agrícolas".
Forças	**Fraquezas**
Capacidade de reduzir as emissões carbono; Experiência prévia de técnicos e gestores públicos com práticas de manejo de resíduos da produção; Legislação pertinente publicada; Existência de propriedades rurais com tecnologias de baixo carbono implementadas; Presença de cooperativas agroindustriais robustas, com capacidade técnica e financeira para implementar soluções; Alta disponibilidade de resíduos agropecuários, que podem ser aproveitados para bioenergia (biogás e biometano); Plano Estadual para adaptação à mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Plano ABC+) publicado; Incentivos estaduais por meio do RenovaPR, com crescente adesão de produtores interessados em energias renováveis e bioenergia; Contribuição com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, 7, 13 e 15); Existência de centros de pesquisa e extensão rural atuantes no Paraná (como universidades, IDR-Paraná, entre outras instituições); Atuação do Estado do Paraná em fóruns nacionais e internacionais de clima e agricultura sustentável.	Baixa adesão dos pequenos produtores a práticas sustentáveis, por falta de recursos ou assistência técnica contínua; Suporte e assistência rural insuficiente; Custo inicial para implementação ou transição às práticas com baixa emissão de carbono; Dependência de financiamento externo para implementação de medidas; Infraestrutura inexistente ou limitada para monitoramento e reporte dos indicadores e Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs); Necessidade de infraestrutura local; Desafios na conectividade e acesso a tecnologias avançadas; Falta ou deficiência de arranjos de intercâmbio tecnológico e de difusão do conhecimento; Falta de conhecimento do produtor ou empreendedor; Falta de mão-de-obra qualificada.

Oportunidades	Ameaças
Acesso a financiamento climático nacional e internacional para projetos de energia renovável rural; Expansão do mercado de crédito de carbono e pagamentos por serviços ambientais (PSA) — incluindo potenciais receitas para produtores que adotarem práticas sustentáveis; Interesse do setor privado em descarbonização; Expansão da cadeia de insumos para atender todas as tecnologias de baixo de carbono do setor AFOLU; Regulamentação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE); Fortalecimento de parcerias entre academia, governo e setor privado para promover capacitação técnica; Parcerias público-privadas e com cooperativas para fomentar tecnologias de baixo carbono, como o uso de biometano como substituto de diesel na logística rural; Avanços tecnológicos e digitalização no campo, com uso de sensoriamento remoto e inteligência artificial no monitoramento de carbono e uso da terra; Maior espaço para inovação aberta com startups agroclimáticas em polos tecnológicos no Paraná; Uso da fiscalização por sensoriamento remoto e imagens de satélite, já empregadas pelo IAT para coibir queimadas; Substituição de fertilizantes químicos por orgânicos.	Resistência cultural à implementação de medidas de baixo carbono; Riscos de descontinuidade de políticas públicas e de financiamento, dependendo de ciclos políticos e mudanças administrativas; Concorrência com outras atividades econômicas; Disponibilidade hídrica; Diminuição da disponibilidade de fertilizantes químicos; Redução da capacidade de armazenamento de carbono no solo devido à recorrência do uso de fogo; Redução da fertilidade do solo; Enfraquecimento de estruturas institucionais de meio ambiente e agricultura sustentável diante de possíveis mudanças políticas; Estagnação na renovação de quadros técnicos nos órgãos públicos, dificultando inovação e continuidade das políticas; Desinformação ou má compreensão sobre mudanças climáticas e seus impactos locais, dificultando o engajamento dos produtores; Aumento da vulnerabilidade climática relacionada aos períodos de seca.
Legenda: SWOT é a sigla em inglês para forças (*Strengths*), pontos fraquezas (*Weaknesses*), oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*).; ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Fonte: Elaborada por EnvEx Engenharia e Consultoria e Eos (2025)..	

Tabela 28 – Análise SWOT para estratégia "Promover a compensação de emissões por meio de tecnologias de agricultura de baixo carbono".

Estratégia	**Promover a compensação de emissões por meio de tecnologias de agricultura de baixo carbono**
Medidas de descarbonização	"Qualificar os Sistemas de Plantio Direto de Grãos (SPDG)"; "Recuperar ou renovar pastagens em solos degradados"; "Aumentar a área ocupada por sistemas integrados"; "Aumentar a área ocupada por florestas plantadas com manejo sustentável" e "Aumentar a área ocupada por sistemas agroflorestais".

Forças	**Fraquezas**
Capacidade comprovada de reduzir emissões e capturar carbono atmosférico por meio de práticas conservacionistas; Produção sustentável e resiliente de alimentos e madeira; *Know-how* acumulado por técnicos e gestores públicos em práticas de manejo sustentável (e.g., Sistema de plantio direto de grãos, integração lavoura-pecuária); Forte base técnica e científica no estado (e.g., EMBRAPA, IDR-Paraná, universidades); Melhoria da produtividade agrícola associada ao uso de tecnologias de baixo carbono; Marco legal favorável com políticas e planos já publicados (como o Plano ABC+ Paraná); Presença de propriedades com experiências bem-sucedidas em adoção de tecnologias de baixo carbono; Interesse institucional do governo estadual na sustentabilidade agropecuária; Atuação ativa de cooperativas agroindustriais com capacidade de escala, técnica e financeira; Alinhamento com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, 13 e 15); Fortalecimento de redes interinstitucionais para disseminação e apoio técnico.	Baixa adesão dos pequenos produtores a práticas sustentáveis por limitações financeiras, técnicas e logísticas; Insuficiência de assistência técnica rural contínua e capilarizada; Dificuldade de articulação entre pequenos e grandes produtores rurais; Alto custo inicial de implementação e ausência de incentivos estruturados de transição; Dependência de financiamento externo (nacional e internacional); Pressão de mercados consumidores por volumes e prazos incompatíveis com práticas sustentáveis; Falta de padronização, validação e monitoramento dos indicadores-chave das tecnologias (ex: SPDG); Infraestrutura rural e logística limitada (armazenamento, escoamento, conectividade); Conflitos fundiários e ausência de regularização em algumas áreas; Baixa inserção de tecnologias digitais no campo, especialmente em regiões remotas; Falta de mecanismos eficazes de intercâmbio de boas práticas e transferência de tecnologia; Deficiência de mão-de-obra especializada e capacitada no meio rural.

Oportunidades	Ameaças
Expansão de fontes de financiamento climático e verde, via fundos internacionais e mecanismos como o PSA; Aumento da demanda nacional e internacional por produtos com certificação de sustentabilidade e baixo impacto; Consolidação do mercado de carbono e pagamento por serviços ecossistêmicos no Brasil; Engajamento crescente do setor privado em cadeias agroindustriais descarbonizadas; Desenvolvimento e barateamento de tecnologias adaptadas ao pequeno produtor; Fortalecimento de marcos regulatórios (ex: Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões); Ampliação de parcerias interinstitucionais entre governo, academia, terceiro setor e cooperativas; Avanços em monitoramento remoto, inteligência artificial e sensoriamento para rastreamento de carbono e uso da terra; Valorização da multifuncionalidade da agricultura no contexto das mudanças climáticas.	Resistência cultural e baixa percepção de risco climático por parte de segmentos do setor rural; Sucessão familiar precária em muitas propriedades, comprometendo a continuidade das práticas; Instabilidade de políticas públicas e de financiamento em decorrência de mudanças políticas; Concorrência de atividades econômicas com maior rentabilidade de curto prazo; Intensificação de eventos climáticos extremos (seca, geadas, inundações), dificultando a implementação de sistemas integrados; Aceleração do desmatamento ilegal e ocupações irregulares no campo; Degradação do solo e perda de fertilidade por uso intensivo sem manejo adequado; Disseminação de pragas e doenças com impactos agravados por alterações climáticas; Escassez ou má gestão de recursos hídricos, sobretudo em bacias críticas.
Legenda: SWOT é a sigla em inglês para forças (Strengths), pontos fraquezas (Weaknesses), oportunidades (Opportunities) e ameaças (Threats).; ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. IDR – Instituto do Desenvolvimento Rural do Paraná. Fonte: Elaborada por EnvEx Engenharia e Consultoria e Eos (2025).	

Tabela 29 – Análise SWOT para estratégia "Compensação de emissões por meio de restauração da vegetação nativa"

Estratégia	**Compensação de emissões por meio de restauração da vegetação nativa**
Medidas de descarbonização	"Restaurar vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP); "Restaurar vegetação nativa em Reserva Legal (RL)" e "Restaurar áreas úmidas e campos, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das Áreas Estratégicas para Conservação e Restauração (AECR)".
Forças	**Fraquezas**
Melhoria da qualidade do ar e da regulação climática local; Promoção da conservação da biodiversidade e conectividade ecológica; Aumento do estoque de carbono em solos, biomassa e resíduos vegetais; Existência de legislação ambiental que ampara e exige a recuperação de áreas degradadas; Avanço na estruturação do sistema de créditos de biodiversidade no Brasil; Programas federais e estaduais em andamento no Paraná; Contribuição direta para os 13 (ação contra a mudança global do clima) e 15 (vida terrestre); Estrutura técnica e operacional existente no estado, como viveiros florestais e laboratórios de sementes do Instituto Água e Terra (IAT); Participação ativa do estado em fóruns e iniciativas de neutralidade climática	Resistência cultural de parte dos produtores rurais e comunidades locais à restauração ambiental; Baixo conhecimento sobre os benefícios dos serviços ecossistêmicos e ausência de ações de educação ambiental continuada; Dificuldades técnicas e metodológicas para o monitoramento e mensuração dos impactos positivos da restauração; Falta de incentivos econômicos diretos e de instrumentos financeiros específicos para proprietários rurais; Dependência de recursos externos (fundos internacionais e doações) para viabilizar ações em larga escala; Carência de capacitação técnica de profissionais locais e de gestores públicos municipais; Infraestrutura limitada para monitoramento ambiental, indicadores de desempenho e auditoria de resultados.

Oportunidades	Ameaças
Possibilidade de remuneração por serviços ecossistêmicos (REDD+, PSA, créditos de biodiversidade); Interesse internacional consolidado na restauração da Mata Atlântica e nos compromissos climáticos brasileiros; Disponibilidade de financiamento climático global (ex.: GCF, BNDES, cooperação bilateral); Crescente demanda do setor privado por ativos verdes e iniciativas de descarbonização (ex.: créditos de carbono e biodiversidade); Regulamentação em curso do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE); Avanços em tecnologias de restauração, monitoramento remoto e manejo adaptativo; Potencial de geração de renda local por meio do turismo de natureza, manejo florestal sustentável e bioeconomia; Crescente mobilização social e pressão popular por políticas públicas ambientais consistentes e transparentes; Integração com políticas de desenvolvimento rural sustentável e segurança hídrica.	Pressão econômica e política pelo avanço da fronteira agropecuária e industrial sobre áreas sensíveis; Redução do orçamento público para meio ambiente em contextos de austeridade fiscal ou crise econômica; Custos elevados para implementação, manutenção e monitoramento das ações de restauração; Conflitos fundiários em áreas prioritárias para conservação e disputas pela posse da terra; Impactos das mudanças climáticas (ex.: secas, incêndios, eventos extremos) sobre áreas restauradas; Risco de escassez de insumos florestais, como mudas nativas e sementes, diante do aumento da demanda; Possibilidade de descontinuidade de políticas públicas e mudanças nas prioridades de governo.
Legenda: SWOT é a sigla em inglês para forças (Strengths), pontos fraquezas (Weaknesses), oportunidades (Opportunities) e ameaças (Threats).; ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. PSA: Pagamento por Serviços Ambientais; GCF - Green Climate Fund; BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; REDD+ - Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal. Fonte: Elaborada por EnvEx Engenharia e Consultoria e Eos (2025).	

Tabela 30 – AAnálise SWOT para estratégia “Redução e compensação de emissões por meio de alteração de Usos da Terra”

Estratégia	**Redução e compensação de emissões por meio de alteração de Usos da Terra**
Medidas de descarbonização	"Criar Unidades de Conservação, conforme a priorização proposta pelo mapeamento das AECR" e "Reduzir o desmatamento ilegal".

Forças	**Fraquezas**
Redução das emissões de GEE por conservação de florestas nativas; Melhoria da qualidade do ar, dos serviços hídricos e da regulação do clima local; Promoção da conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos; Estímulo à conservação do carbono estocado em solo, vegetação e matéria orgânica; Existência de legislação ambiental pertinente (ex.: Código Florestal, SNUC); Presença de programas e iniciativas estaduais (ex.: Programa Paranaense de Mudanças Climáticas); Contribuição direta para os ODS 13 (ação climática) e 15 (vida terrestre); Estrutura de fiscalização existente com presença de instituições como o IAT, MPPR e PM Ambiental; Mecanismo de incentivo financeiro via ICMS Ecológico para municípios com Unidades de Conservação (UCs); Existência de operações regulares para coibir o desmatamento e queimadas ilegais (ex.: Operação Mata Atlântica em pé).	Resistência cultural de produtores rurais e comunidades frente à criação de UCs e restrições de uso da terra; Complexidade para fiscalização efetiva nos territórios, especialmente em áreas remotas; Falta de conhecimento da população e do setor produtivo sobre os serviços ecossistêmicos e o valor da conservação; Dificuldade em estabelecer metodologias robustas para mensurar os benefícios climáticos e sociais da conservação; Presença de mercados consumidores para produtos oriundos de áreas desmatadas (ex.: madeira ilegal, pasto); Carência de incentivos econômicos à conservação voluntária por proprietários privados; Atratividade econômica de áreas naturais para desmatamento e uso intensivo; Impunidade em crimes ambientais, com sanções brandas ou baixa capacidade de cobrança; Falta de restrições econômicas ou creditícias a desmatadores reincidentes; Déficit em assistência técnica rural com capacitação na área ambiental, especialmente para pequenos produtores; Falta de capacitação técnica dos gestores locais e carência de profissionais especializados; Estrutura para monitoramento, georreferenciamento e controle de indicadores de carbono e biodiversidade.

Oportunidades	Ameaças
Crescimento do mercado de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), incluindo conservação de florestas; Disponibilidade de financiamento climático internacional (ex.: GCF, e cooperação bilateral) e nacional (ex.: BNDES Fundo Clima); Forte interesse do setor privado por soluções baseadas na natureza e compra de créditos de carbono/biodiversidade; Processo de regulamentação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE); Possibilidade de inserção de comunidades locais em atividades econômicas sustentáveis (turismo ecológico, manejo florestal, produtos da sociobiodiversidade); Apoio crescente da sociedade civil e da mídia à proteção de biomas e ao combate ao desmatamento ilegal; Sinergia com políticas estaduais de biodiversidade, mudanças climáticas e desenvolvimento regional sustentável; Reconhecimento crescente do valor econômico e estratégico da floresta em pé para o Paraná.	Cultura do desmatamento, uso predatório dos recursos naturais e baixa percepção de risco ambiental; Pressões econômicas intensas do agronegócio e da indústria sobre áreas florestais e campos nativos; Elevados custos de implementação, operação e manutenção de UCs e políticas de conservação efetivas; Conflitos fundiários e sobreposição de interesses em territórios estratégicos para conservação; Impactos negativos das mudanças climáticas e eventos extremos (ex.: incêndios, secas prolongadas); Instabilidade política e descontinuidade de políticas públicas ambientais em mudanças de governo; Fragilidade institucional em promover a governança integrada entre níveis estadual e municipal.
Legenda: SWOT é a sigla em inglês para forças (Strengths), pontos fraquezas (Weaknesses), oportunidades (Opportunities) e ameaças (Threats).; ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável; SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza; IAT – Instituto Água e Terra; MPPR – Ministério Público do Paraná; PM - Polícia Militar; GCF - Green Climate Fund; BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Fonte: Elaborada por EnvEx Engenharia e Consultoria e Eos (2025).	

Tabela 31 – Análise SWOT para "Substituição de Equipamentos Antigos por Sistemas mais Eficientes, como Motores e Compressores de Alta Eficiência"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Alta disponibilidade de tecnologias eficientes no mercado nacional. • Redução direta da demanda energética estadual.	• Falta de estrutura para fiscalização da eficiência energética no estado. • Baixo incentivo à inovação industrial local em eficiência energética.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Acesso crescente a fundos climáticos e linhas verdes de financiamento. • Possibilidade de criação de empregos verdes no setor de eficiência.	• Competição com tecnologias importadas sem controle de qualidade ou eficiência. • Descontinuidade de políticas públicas e incentivos fiscais.

Tabela 32 – Análise SWOT para "Aumento da Produção de Biogás com Resíduos Animais"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Grande potencial de geração de biogás com a pecuária paranaense. • Existência de cooperativas estruturadas para viabilizar projetos coletivos. • Avanços em pesquisa e extensão rural na área de energia renovável.	• Alto custo inicial de implantação dos sistemas. • Falta de assistência técnica contínua. • Fragmentação institucional entre órgãos ambientais, agrícolas e energéticos.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Mercado de carbono em expansão no Brasil e exterior. • Programas federais e internacionais de financiamento climático. • Potencial de uso do biogás como combustível veicular e geração elétrica.	• Insegurança jurídica e regulatória sobre o uso e comercialização do biometano. • Risco de desinformação e baixa aceitação social da tecnologia. • Concorrência com outras fontes renováveis mais difundidas (solar, eólica).

Tabela 33 – Análise SWOT para "Expansão da Geração Elétrica a partir de Biogás e Biometano"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Abundância de resíduos agropecuários no Paraná. • Sinergia com geração distribuída rural. • Potencial de redução de metano.	• Baixo conhecimento técnico nas propriedades rurais. • Alto custo inicial de biodigestores e equipamentos. • Falta de integração intersetorial nas políticas públicas.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Expansão da GD e incentivos a energias renováveis. • Parcerias com cooperativas e agências de fomento. • Acesso ao mercado de carbono e créditos verdes.	• Volatilidade nos preços de energia e crédito. • Falta de continuidade em políticas públicas de apoio. • Pressões por uso de tecnologias convencionais (ex.: diesel, carvão).

Tabela 34 – Análise SWOT para "Implementação de Tecnologias de Ponta nos Processos Industriais para Otimizar o Consumo de Energia"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Potencial de economia de energia e aumento da competitividade. • Estrutura regulatória existente para programas energéticos.	• Dependência de incentivos externos e baixa capacitação técnica. • Falta de padronização nos dados e medição de eficiência.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Acesso a novos financiamentos climáticos e fundos verdes. • Avanço tecnológico e digitalização do setor elétrico.	• Reações adversas do mercado à regulamentação. • Concorrência com outras prioridades de investimento público.

Tabela 35 – Análise SWOT para "Expansão da Geração Elétrica a partir de Biomassa e Cogeração com Bagaço"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Abundância de biomassa (bagaço, palha) no estado. • Infraestrutura agroindustrial já consolidada. • Potencial de geração distribuída e menor perda na transmissão.	• Alto custo inicial dos sistemas de cogeração. • Dificuldades técnicas para exportar energia à rede. • Dependência de sazonalidade agrícola.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Novos mercados de carbono e créditos verdes. • Desenvolvimento de políticas estaduais de bioenergia. • Avanços tecnológicos em caldeiras e turbinas.	• Concorrência com fontes mais baratas (eólica, solar). • Insegurança regulatória no setor elétrico. • Risco climático afetando produtividade agrícola.

Tabela 36 - Análise SWOT para "Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Renováveis"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Potencial agroindustrial do Paraná (soja, milho, cana, resíduos). • Presença de cooperativas e instituições financeiras públicas locais.	• Baixa maturidade tecnológica de rotas como etanol 2G e biodiesel de resíduos. • Falta de mão de obra qualificada e baixa capacitação técnica em algumas regiões.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Ampliação do mercado internacional de combustíveis sustentáveis (ex: SAF e HVO). • Financiamentos internacionais e mercados voluntários de carbono.	• Concorrência com combustíveis fósseis subsidiados e pressão por preços baixos. • Volatilidade de preços agrícolas e instabilidade de políticas nacionais.

Tabela 37 – Análise SWOT para "Aproveitamento de Resíduos Industriais para Geração de Energia"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Potencial de aproveitamento de resíduos já existentes nas regiões industriais. • Contribuição direta para a redução de emissões de GEE. • Sinergia com políticas de economia circular e resíduos sólidos.	• Baixa difusão tecnológica e poucas referências locais. • Falta de infraestrutura logística adequada para coleta e transporte de resíduos. • Escassez de dados confiáveis sobre volume e composição de resíduos industriais disponíveis.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Financiamento climático e mercados de carbono em expansão. • Desenvolvimento de polos industriais sustentáveis no Paraná. • Avanço tecnológico em bioenergia e combustíveis alternativos.	• Falta de normatização pode gerar insegurança jurídica. • Resistência de setores industriais por custos de adaptação. • Competição com outras fontes renováveis pode limitar incentivos.

Tabela 38 – Análise SWOT para "Processamento de Biometano em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH)"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Potencial de geração renovável diversificado (solar, biomassa, eólica). • Avanço da GD (geração distribuída) e inovação em algumas regiões. • Marcos legais ambientais e climáticos já existentes em âmbito nacional.	• Baixa capacidade técnica em municípios e estados para planejar e executar projetos de descarbonização. • Dependência de combustíveis fósseis em setores estratégicos (ex.: transporte, indústria). • Falta de integração entre dados e sistemas de monitoramento e avaliação de emissões.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Acesso a financiamentos climáticos internacionais e créditos de carbono. • Valorização de produtos com selo verde no mercado externo (agro, industrial). • Potencial de geração de emprego qualificado com a transição energética.	• Aumento de eventos climáticos extremos que podem comprometer a infraestrutura energética. • Concorrência tecnológica e comercial internacional com países mais avançados. • Risco de greenwashing e captura institucional por interesses não alinhados à descarbonização.

Tabela 39 – Análise SWOT para "Aumento da Produção de Hidrogênio Renovável"

Forças (S)	Fraquezas (W)
• Potencial renovável (eólica, solar, biomassa) abundante no Paraná. • Existência de polos industriais com potencial de uso do H_2. • Instituições de pesquisa atuantes (universidades, SENAI, etc.).	• Falta de regulamentação estadual específica para hidrogênio. • Baixa articulação interinstitucional. • Alto custo das tecnologias envolvidas.
Oportunidades (O)	**Ameaças (T)**
• Acesso a fundos climáticos e a mercados internacionais. • Crescimento da demanda global por hidrogênio verde. • Parcerias internacionais para desenvolvimento e exportação.	• Competição com outros estados brasileiros mais avançados (CE, RN). • Instabilidade regulatória e falta de planejamento de longo prazo. • Barreiras logísticas (infraestrutura portuária, transporte).

Tabela 40 – Análise SWOT da medida "Promover o uso de Transporte Ferroviário"

Promover o uso do transporte ferroviário	
Forças	**Fraquezas**
· Enquadramento dos projetos de construção de ferrovia aos critérios de iniciativas de financiamento verde (Climate Bonds Initiative)	· Aumento percentual no valor do investimento em infraestrutura ferroviária
· Projeto de concessão de ferrovia viável economicamente	· Velocidade operacional reduzida
· Integração ferroviária com malhas ferroviárias estratégicas de outros estados e portos	· Incompatibilidade e diferença entre bitolas ferroviárias de 1,00 m e 1,60 m
· Realização de acordos de cooperação técnica com o Ministério dos Transportes para promover avanços na malha ferroviária do estado	· Incompatibilidade entre a infraestrutura ferroviária, em cidades como Curitiba, e a via urbana utilizada por automóveis e pedestres dificultando a frenagem e manobra de trens
· Impulsiona o turismo e desenvolvimento econômico local	· Conflito no uso do solo e ocupação do solo destinada a infraestrutura ferroviária (trilhos) e a população urbana nas cidades do Paraná
	· As legislações relativas às comunidades indígenas e às unidades de conservação são de fundamental importância para o desenvolvimento do transporte hidroviário interior e ferroviário e precisam ser bem analisadas no processo de tomada de decisões sobre os locais de portos e terminais
	· Identificação de comunidades indígenas, quilombolas, faxinais, ilhéus, cipozeiras e caiçaras, como também assentamentos rurais da reforma agrária
Oportunidades	**Ameaças**
· Os altos custos do transporte rodoviário e congestionamento em portos, seguidos de regiões com estradas em condições não ótimas, aumentando os custos de manutenção e falta de segurança nas estradas facilitando o roubo de carga e o seguro caro, o que favorece o uso de hidrovias e ferrovias	· A falta de conhecimento sobre as vantagens e possibilidades do uso de ferrovia pode influenciar nas decisões das transportadoras. O transporte rodoviário é mais fácil de ser organizado
· Projetos Nacionais como REPORTO, que incentivam a Integração porto-ferrovia criado para incentivar investimentos na recuperação, modernização e ampliação de portos e ferrovias brasileiras, com a suspensão e/ou isenção de tributos	· O aumento no número de legislações aplicáveis resulta num conjunto complexo de jurisdições e regulamentações que trava os investimentos e a iniciativa privada
· Incentivo de programas Nacionais como o novo PAC	· Logística precária: há falta de estações de transbordo (não há conexões suficientes com outros modos)
· Participação da sociedade no planejamento de novas infraestruturas (ferrovia, hidrovia) com chamada pública	· Baixa acessibilidade ao mercado devido à falta de infraestrutura (terminais, estações de abastecimento de combustível, estaleiros)
	· Altas taxas de juros para investimentos em locomotivas em comparação com caminhões
	· Domínio do transporte rodoviário

Tabela 41 - Análise SWOT da medida “Promover o uso de Transporte Aquático”

Promover o uso do transporte aquático	
Forças	**Fraquezas**
· Potencial enquadramento de projetos de transporte aquaviário nos critérios de financiamento verde (como Climate Bonds Initiative), ampliando o acesso a fontes de recursos sustentáveis	· Baixa infraestrutura nos terminais hidroviários existentes no estado e ausência de integração efetiva com outros modos de transporte (rodoviário e ferroviário)
· Existência de hidrovias economicamente viáveis, com potencial de redução de custos logísticos e operacionais	· Dependência de investimentos públicos e privados em obras de dragagem, sinalização e modernização da via navegável
· Integração estratégica com terminais portuários já consolidados, como o Porto de Paranaguá, facilitando o escoamento de cargas	· Falta de planejamento logístico estadual específico para o setor hidroviário
· Possibilidade de firmar parcerias com órgãos federais (como o Ministério de Portos e Aeroportos) para modernização e dragagem de vias navegáveis	· As legislações relativas às comunidades indígenas e às unidades de conservação são de fundamental importância para o desenvolvimento do transporte hidroviário interior e ferroviário e precisam ser bem analisadas no processo de tomada de decisões sobre os locais de portos e terminais
· Capacidade de fomentar o desenvolvimento regional e o turismo fluvial, especialmente em áreas com atrativos naturais e culturais	· Capacitação técnica limitada nos municípios para operação e gestão de transporte fluvial
	· Percepção limitada entre os tomadores de decisão sobre o potencial do modal hidroviário frente a rodovias e ferrovias

Oportunidades	Ameaças
· O mercado de contêineres está em crescimento, mas a participação do transporte hidroviário interior tem sido muito baixa, principalmente por causa da logística limitada	· Altas taxas de juros para investimentos em embarcações em comparação com caminhões
· Já se utiliza o transporte hidroviário interior para o transporte de carga e, de acordo com as previsões, o volume de carga aumentará substancialmente nas próximas décadas	· Estratégias para minimizar/solucionar empecilhos para a expansão da navegação interior pode sair muito mais caro do que os orçamentos permitem
· Os altos custos do transporte rodoviário e congestionamento em portos, seguidos de regiões com estradas em condições não ótimas, aumentando os custos de manutenção e falta de segurança nas estradas facilitando o roubo de carga e o seguro caro, o que favorece o uso de hidrovias e ferrovias	· Domínio do transporte rodoviário
· Melhorias em hidrovias e portos organizados, visando garantir as atividades de manutenção da infraestrutura, contemplando também as edificações de apoio à operação dos portos e terminais., com maior segurança e eficiência aos usuários, aprimoramento da gestão e operação dos equipamentos, carga e descarga das embarcações e dos terminais de passageiros	· Logística precária: há falta de estações de transbordo (não há conexões suficientes com outros modos)
· As hidrovias da região Sul e Sudeste (Uruguai, Sul, Tietê-Paraná) apresentam menos áreas vulneráveis a futuras intervenções, do ponto de vista socioambiental	· Em muitos rios as barragens foram construídas sem eclusas
· Incentivo de programas Nacionais como o novo PAC	· Baixa acessibilidade ao mercado devido à falta de infraestrutura (terminais, estações de abastecimento de combustível, estaleiros)
· Participação da sociedade no planejamento de novas infraestruturas (ferrovia, hidrovia) com chamada pública	· O aumento no número de legislações aplicáveis resulta num conjunto complexo de jurisdições e regulamentações que trava os investimentos e a iniciativa privada
	· A falta de conhecimento sobre as vantagens e possibilidades da navegação interior pode influenciar nas decisões das transportadoras. O transporte rodoviário é
	· Regulamentação rigorosa da Marinha para a capacitação da tripulação

Tabela 42 – Análise SWOT da medida "Promover o uso do transporte ativo"

Promover o uso do transporte ativo	
Forças	**Fraquezas**
· Baixo custo de implementação de infraestrutura cicloviária e de pedestres em comparação a modos de transporte motorizados	· Baixo volume de investimentos públicos contínuos e estruturantes voltados à mobilidade ativa.
· Potencial para integração com o transporte público, ampliando o acesso a áreas urbanas e reduzindo a dependência de veículos individuais	· Dificuldade de acesso a financiamentos específicos para projetos de ciclovias e calçadas em municípios de pequeno e médio porte.
· Existência de diretrizes estaduais e municipais de mobilidade urbana sustentável que reconhecem o transporte ativo como prioridade	· Competição orçamentária com outras prioridades de infraestrutura urbana, como transporte motorizado e saneamento
· Contribuição direta para a melhoria da saúde pública, com redução de doenças crônicas associadas ao sedentarismo	· Infraestrutura cicloviária e de calçadas fragmentada, descontínua e com baixa integração aos modais de transporte coletivo
	· Ausência de sistemas tecnológicos para monitoramento e planejamento da mobilidade ativa (ex.: sensores, dados em tempo real, contadores de fluxo)
	· Falta de infraestrutura de apoio como bicicletários, vestiários e sinalização adequada, desestimulando o uso cotidiano
	· Ausência de diretrizes estaduais específicas para padronização e integração da infraestrutura de transporte ativo entre municípios.
	· Falta de integração entre políticas de mobilidade urbana, uso do solo e planejamento urbano voltado à promoção da mobilidade ativa.
	· Baixa institucionalização de equipes técnicas especializadas em mobilidade ativa nas prefeituras e órgãos estaduais
	· Cultura predominante de uso do transporte motorizado individual como símbolo de status e conforto.
	· Baixo nível de conscientização da população sobre os benefícios ambientais, econômicos e de saúde do transporte ativo
	· Deficiência em campanhas educativas e programas permanentes de incentivo ao uso de bicicleta e caminhada
	· Ausência de formação técnica contínua em mobilidade ativa para servidores públicos, planejadores e engenheiros

Oportunidades	Ameaças
· Potencial de valorização imobiliária e dinamização econômica local em áreas com infraestrutura cicloviária e de caminhabilidade	· Concorrência com investimentos em infraestrutura voltada ao transporte motorizado, dificultando a priorização orçamentária para o transporte ativo
· Redução de custos públicos com saúde e transporte ao promover modos ativos, com impacto positivo na economia local	· Falta de linhas de financiamento específicas para projetos de mobilidade ativa em municípios de pequeno e médio porte.
· Oportunidade de integrar o transporte ativo a sistemas inteligentes de mobilidade urbana (smart cities)	· Baixa atratividade econômica imediata para o setor privado, dificultando parcerias público-privadas
· Possibilidade de aproveitamento de áreas urbanas subutilizadas para criação de infraestrutura cicloviária e de pedestres	· Infraestrutura urbana historicamente voltada ao transporte motorizado, com baixa integração entre modos ativos e outros modos de transporte
· Existência de diretrizes nacionais como a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012), que incentiva modos não motorizados	· Falta de conectividade e continuidade nas ciclovias e calçadas, desestimulando o uso diário e seguro do transporte ativo
· Potencial de integração com políticas estaduais e municipais de saúde, educação e meio ambiente, promovendo abordagens intersetoriais	· Clima e relevo desfavoráveis em algumas regiões do estado, especialmente em trajetos mais longos ou acidentados
· Tendência de revisão e atualização de planos diretores municipais com enfoque em mobilidade ativa e desenvolvimento urbano sustentável	· Ausência de políticas públicas robustas e permanentes voltadas à mobilidade ativa nos planos diretores municipais.
· Crescimento da conscientização pública sobre os benefícios da mobilidade ativa para saúde, meio ambiente e qualidade de vida	· Baixa priorização do transporte ativo nas agendas institucionais de órgãos de transporte e planejamento urbano.
· Demanda crescente por espaços públicos mais seguros, acessíveis e sustentáveis, especialmente após a pandemia	· Falta de mecanismos normativos claros para promover a integração intermodal com bicicletas (ex: transporte público)
	· Falta de campanhas educativas e de conscientização contínuas sobre os benefícios da mobilidade ativa

Tabela 43 – Análise SWOT da medida "Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão – individual"

Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão – individual	
Forças	**Fraquezas**
· · Presença de complexos industriais de montadoras como Volvo e a emergente Hitech Electric	· · Alto custo de aquisição de veículos elétricos ou de baixa emissão, mesmo com incentivos fiscais
· · A BR-277 no Paraná conta com uma eletrovia construída pela empresa de energia Copel em parceria com a usina hidrelétrica Itaipu Binacional que liga o Porto de Paranaguá às Cataratas do Iguaçu, em Foz do Iguaçu com 11 eletropostos	· · Baixa atratividade de investimentos privados em infraestrutura voltada exclusivamente ao transporte individual sustentável
· · A cidade de Cascavel (PR), adquiriu veículos elétricos e está implantando um programa completo, desde a geração de energia, para depois realizar a contratação de operadores para a frota já adquirida mediante divisão de contratos de frota e operação	· · Desigualdade socioeconômica que limita o acesso de parte da população a veículos sustentáveis
· · Realização de relatórios de eletromobilidade publicada no Observatório de Inovação do Estado do Paraná	· · Insuficiência de infraestrutura de recarga elétrica em áreas urbanas e praticamente inexistente em áreas rurais ou regiões remotas
· · Realização de Trilha de Capacitações em Eletromobilidade para capacitação de profissionais de empresas e indústrias que já trabalham com veículos híbridos e elétricos	· · Rede de manutenção e assistência técnica especializada em veículos de baixa emissão ainda pouco desenvolvida
· · Ao longo dos anos, a equipe técnica do IPPUC e URBS, com o apoio de diversas empresas de consultoria e institutos do setor, estão desenvolvendo um planejamento robusto. Esse esforço tende a permitir a introdução assertiva da frota de ônibus elétricos, estabelecendo um exemplo a ser seguido por outras cidades do estado	· · Ausência de políticas estaduais robustas e contínuas para incentivar o transporte individual de baixa emissão (como isenções ou subsídios permanentes)
· · No ano de 2023 o estado do Paraná teve alta de 13% no emplacamento de novos carros elétricos cujo aumento se deu pela grande quantidade de veículos elétricos produzidos e adquiridos no estado	· · Falta de harmonização entre normas municipais e estaduais para a circulação e o incentivo a veículos alternativos
	· · Baixa fiscalização sobre a emissão veicular de frotas particulares, dificultando o controle de impacto ambiental
	· · Forte cultura do uso de veículos particulares movidos a combustíveis fósseis, com baixa percepção da necessidade de mudança
	· · Falta de campanhas educativas permanentes para incentivar escolhas de mobilidade mais sustentáveis
	· · Baixo nível de capacitação técnica para atuação com tecnologias de mobilidade individual de baixa emissão (vendas, operação e manutenção)

Oportunidades	Ameaças
· ·Redução gradual dos custos de aquisição e manutenção de veículos elétricos com o avanço da indústria e economia de escala	· Alto custo de capital dos veículos e das infraestruturas necessárias
· Interesse de montadoras em ampliar a produção local ou regional de veículos de baixa emissão, podendo atrair investimentos	· Baixa disponibilidade de linhas de financiamento específicas e acessíveis para aquisição de modais sustentáveis
· Apoio a propostas de política pública como o Sistema Único de Mobilidade Urbana (SUM) que promovem o uso da infraestrutura de mobilidade urbana, com vias e faixas exclusivas para o transporte público coletivo, sistemas de trens e metrôs, terminais, redes cicloviárias e calçadas, reduzindo congestionamentos e tornando a mobilidade mais ágil, eficiente e eficaz	· Ausência de incentivos fiscais estaduais consistentes para modais de transporte individual de baixa emissão
· Criação de leis e regulamentos que promovam a mobilidade sustentável a partir da coordenação legislativa entre as esferas do governo	· Rede de recarga pública limitada para veículos elétricos individuais, especialmente fora dos grandes centros urbanos
· Aumento da conscientização ambiental e da valorização de tecnologias limpas pela população urbana	· Dificuldade de integração desses modais com o sistema de transporte coletivo e urbano já existente
· Interesses crescentes em soluções de mobilidade mais sustentáveis por parte de consumidores jovens e empresas preocupadas com ESG	· Falta de diretrizes estaduais claras e integradas que priorizem o transporte individual sustentável em políticas urbanas e de mobilidade
· Expansão de programas de capacitação técnica e formação de mão de obra para manutenção e operação de veículos elétricos e híbridos	· Burocracia e ausência de mecanismos de governança para fomentar parcerias público-privadas no desenvolvimento de soluções de mobilidade limpa
	· Baixa articulação entre municípios para promover ações regionais integradas voltadas à mobilidade sustentável
	· Falta de fiscalização do manejo da extração e descarte do lítio, no qual na implantação dos programas, é crucial que os entes governamentais adotem medidas de precaução em relação à exploração e ao descarte responsável dos materiais utilizados na fabricação desses veículos, como o lítio
	· Resistência da população a mudanças de hábitos e a adoção de novos modais de transporte, especialmente em regiões com baixa densidade urbana.
	· Falta de campanhas educativas e de capacitação para o uso seguro e eficiente de modais alternativos e de baixa emissão Baixa priorização do transporte ativo nas agendas institucionais de órgãos de transporte e planejamento urbano.
	· Falta de mecanismos normativos claros para promover a integração intermodal com bicicletas (ex: transporte público)
	· Falta de campanhas educativas e de conscientização contínuas sobre os benefícios da mobilidade ativa

Tabela 44 – Análise SWOT da medida "Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo)"

Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo)	
Forças	**Fraquezas**
· Linha de financiamento para que governo local realize a aquisição de ônibus elétricos por meio do formato de financiamento feito às prefeituras e aos estados promovidos pelo Novo Programa de Aceleração do Crescimento Novo PAC - Renovação de Frota	· Reajustes com aumento do valor da tarifa do transporte coletivo em diferentes cidades do Paraná
· Adoção do sistema de integração temporal que viabiliza trocar de linha de ônibus ou de estação-tubo sem precisar pagar nova tarifa	· O transporte coletivo ainda sofre com ônibus superlotados, insegurança, frequência não adequada, o que leva os passageiros que têm uma condição financeira melhor a trocar o transporte coletivo pelo transporte particular
· Convênios que, a partir de 2023, concentram-se em subsídio tarifário a fim de tornar o transporte público mais acessível para a população, especialmente para grupos de baixa renda	· Idade média da frota alta
· O projeto do ônibus híbrido plug-in de Curitiba da Volvo Bus Latin America teve a parceria da URBS, UTFPR (Universidade Tecnológica do Paraná), empresa Cidade Sorriso, e da Setransp, entidade que reúne as empresas de ônibus de Curitiba e Região Metropolitana. Esse projeto, integrado ao programa global de eletromobilidade da Volvo Bus, o City Mobility, teve início em 2016, já atendendo às normas homologadas de transporte urbano da cidade	· Falta de mecanismos de governança do transporte coletivo local, bem como a dependência do sistema metropolitano gerido pelo estado para atendimento de viagens internas, por exemplo, alguns municípios possuem sistemas urbanos licitados e outros as linhas são ofertadas pelo município
· O estado do Paraná é referência em inovação em sistemas organizados de transporte público na América Latina, tendo como exemplo a cidade de Curitiba - pioneira na operação de corredores de transporte coletivo	· Queda do número de usuários impulsionado pela falta de flexibilidade, baixo nível do conforto e alto tempo de viagem, mudanças de hábito, teletrabalho e priorização de transporte individual
· Implantação de terminais rodoviários intermunicipais a fim de consolidar uma infraestrutura que suporte uma rede de transporte coletivo multimodal e integrado aos sistemas metropolitanos	
· Convênios que, a partir de 2023, concentram-se em novas linhas de ônibus que cobrem regiões anteriormente mal atendidas ou não atendidas, melhorando a conectividade e reduzindo o tempo de deslocamento dos passageiros	
· Possibilidade de propor legislações e fazer investimentos para aprimorar o sistema de transporte coletivo de médias e grandes cidades, a fim de atrair mais usuários para o sistema e reduzir o carro leve circulando nas ruas	

Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (transporte coletivo)	
Forças	**Fraquezas**
· A descarbonização da frota do transporte coletivo é um dos pilares do plano de sustentabilidade do Município de Curitiba para as próximas décadas	
· Criação de Conselhos do Transporte Coletivo de regiões metropolitanas como de Curitiba, responsável por assessorar na formulação, implementação e avaliação de políticas, planos e programas relacionados ao transporte público coletivo urbano	
· Elaboração de Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) das Regiões Metropolitanas do estado do Paraná	
Oportunidades	**Ameaças**
· Financiamento compartilhado entre as três esferas do governo e parcerias público-privadas para expansão de sistemas de transporte público (coletivo)	· Preços acessíveis de transporte por aplicativos de plataforma de mobilidade
· Apoio financeiro por programas como Fundo Clima desenvolvido pelo BNDES para apoiar projetos como de Bus Rapid Transit (BRTs	· Estagnação do setor de infraestrutura como ausência de obra de faixas e corredores exclusivos de ônibus
· Apoio a propostas de política pública como o Sistema Único de Mobilidade Urbana (SUM) que promovem o uso da infraestrutura de mobilidade urbana, com vias e faixas exclusivas para o transporte público coletivo, sistemas de trens e metrôs, terminais, redes cicloviárias e calçadas, reduzindo congestionamentos e tornando a mobilidade mais ágil, eficiente e eficaz	· Falta de padronização da frota promovida pelo Governo Federal impedindo a redução dos riscos de especificações que possam levar a direcionamento de licitações e eventualmente elevar o nível de qualidade dos ônibus usados em muitas cidades
· Abertura de novos processos de licitação que favoreça uma nova modelagem do transporte público	· Ausência de uma comunicação eficaz e de coordenação entre as diferentes esferas de governo que resulte em sobreposições de iniciativas ou, inversamente, em lacunas nas áreas estratégicas como a atuação do transporte coletivo
· Apoio a propostas de política pública como o Sistema Único de Mobilidade Urbana (SUM) a fim de promover a participação da sociedade nas decisões sobre o transporte público	· Falta de fiscalização do manejo da extração e descarte do lítio, no qual na implantação dos programas, é crucial que os entes governamentais adotem medidas de precaução em relação à exploração e ao descarte responsável dos materiais utilizados na fabricação desses veículos, como o lítio
	· Mudança cultural gerada pelo uso de aplicativos de plataforma de mobilidade, mudanças de hábito, teletrabalho e priorização de transporte individual

Tabela 45 – Análise SWOT da medida "Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)"

Incentivar o uso de transportes alternativos com baixa emissão (TUC)	
Forças	**Fraquezas**
· Presença de complexos industriais de montadoras como Volvo e a emergente Hitech Electric	· Alto custo inicial de aquisição de veículos elétricos ou a biocombustíveis para frotas urbanas de carga
· A BR-277 no Paraná conta com uma eletrovia construída pela empresa de energia Copel em parceria com a usina hidrelétrica Itaipu Binacional que liga o Porto de Paranaguá às Cataratas do Iguaçu, em Foz do Iguaçu com 11 eletropostos	· Acesso limitado a linhas de crédito específicas para empresas de pequeno e médio porte investirem em tecnologias limpas
· Melhoria da infraestrutura gerada pelo Novo PAC	· Inexistência de incentivos fiscais amplos e duradouros voltados à logística urbana de baixa emissão
· Inovação do Estado do Paraná	· Dificuldade em comprovar retorno financeiro no curto prazo para investidores privados, devido ao alto CAPEX
· Realização de Trilha de Capacitações em Eletromobilidade para capacitação de profissionais de empresas e indústrias que já trabalham com veículos híbridos e elétricos	· Baixa disponibilidade de pontos de recarga elétrica ou abastecimento de combustíveis alternativos nas áreas urbanas
	· Falta de infraestrutura logística adaptada ao uso de cargobikes e veículos leves, como ciclovias de carga e zonas exclusivas
	· Limitações tecnológicas na autonomia e capacidade de carga dos veículos elétricos e de pequeno porte
	· Escassez de centros logísticos urbanos otimizados para distribuição de última milha com baixa emissão
	· Ausência de diretrizes claras sobre a operação de zonas de baixa emissão e regras específicas para a logística urbana sustentável
	· Falta de integração entre políticas municipais, estaduais e federais voltadas à descarbonização do transporte de carga
	· Resistência de operadores logísticos e motoristas à adoção de novas tecnologias e modais de transporte
	· Cultura consolidada de uso de veículos utilitários convencionais a diesel para entregas urbanas

Oportunidades	Ameaças
· Acesso a linhas de financiamento verde nacionais e internacionais (ex: BNDES, Climate Bonds Initiative) para renovação de frotas e implantação de infraestrutura logística limpa	· Incertezas econômicas e fiscais que reduzem o apetite do setor privado por investimentos em novas tecnologias
· Potencial para parcerias público-privadas (PPPs) voltadas à implantação de hubs logísticos sustentáveis e incentivo fiscal para veículos de baixa emissão	· Falta de padronização tecnológica entre fabricantes e modelos, dificultando a adoção em escala
· Crescente valorização de cadeias logísticas sustentáveis por parte de grandes empresas e varejistas, o que pode atrair investimentos e favorecer negócios locais	· Ausência ou lentidão na atualização de normas e marcos legais para circulação, segurança e certificação de veículos alternativos
· Disponibilidade crescente de soluções tecnológicas para veículos elétricos, a gás ou movidos a biocombustíveis adaptados à logística urbana	· Falta de mecanismos estáveis e estruturados de incentivos fiscais e regulatórios para o transporte urbano de carga sustentável
· Expansão da infraestrutura de recarga e abastecimento para frotas limpas, com possibilidade de integração com projetos de energia renovável	· Resistência à mudança por parte dos operadores logísticos, especialmente de pequeno porte
· Adoção de sistemas inteligentes de gestão logística, como janelas de carga e softwares de roteirização, que reduzem o tempo de operação e as emissões	
· Existência de marcos federais e estaduais que incentivam o uso de energias renováveis e veículos de baixa emissão, como o RenovaBio e incentivos à mobilidade elétrica	
· Potencial de criação de zonas de baixas emissões e regulamentações municipais para limitar veículos poluentes em áreas urbanas sensíveis	
· Estímulo a políticas públicas voltadas à logística urbana sustentável por meio de planos de mobilidade urbana e programas estaduais de descarbonização	
· Interesse de universidades e instituições técnicas em desenvolver projetos e capacitação voltados à logística verde e transporte sustentável	
· Tendência global de valorização da sustentabilidade em cadeias de suprimentos, gerando maior aceitação social e apoio a soluções alternativas	

Tabela 46 – Análise SWOT da medida "Promover o uso de biocombustíveis – etanol"

Promover o uso de biocombustíveis – etanol	
Forças	**Fraquezas**
· BNDES aprova crédito a projetos de biocombustíveis em 2024 favorecendo investimento em usina de etanol de milho no estado do Paraná	· Etanol tem menor poder calorífico que a gasolina, o que faz necessário maior quantidade para percorrer o mesmo percurso
· Diminuição da necessidade por importação de combustíveis fósseis	· Dificuldade de desacoplar a precificação do etanol hidratado em função do valor da gasolina mineral
· Histórico de uso e testes com biocombustíveis em diferentes tipos de veículos, inclusive em frotas cativas e no transporte coletivo urbano, demonstra a maturidade tecnológica e a viabilidade operacional do etanol e de outros renováveis em múltiplas aplicações	· Falta de previsibilidade pode afetar mercado de biocombustíveis
· Biodiesel, etanol, diesel verde, biometano e bioquerosene de aviação são biocombustíveis regulamentados pela ANP, podendo ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil	· Baixa penetração de veículos adaptados ou preparados para uso eficiente de biocombustíveis alternativos, especialmente em frotas pesadas
· A lei do Combustível do Futuro, altera os percentuais de mistura de etanol na gasolina, que passará a ter um mínimo de 22% do biocombustível, podendo alcançar até 35%	· Falta de padronização e sinalização clara quando à demanda e/ou rotas/matérias primas aceitas pelo mercado internacional para biocombustíveis
· Capacitação da população a partir de realização de oficina em bioeconomia em comunidades costeiras de Paranaguá (PR)	· Baixo engajamento de motoristas ao uso de biocombustível que ignora a paridade com outro combustível como gasolina e diesel apesar da menor taxa de pegada de carbono

Oportunidades	Ameaças
· Expansão da capacidade de produção de etanol de cana e de milho no Paraná	· Projeção da demanda de etanol para uso não energético, concentrada basicamente na produção de bebidas, cosméticos, produtos farmacêuticos, petroquímicos e compostos oxigenados
· Incentivos fiscais, financeiros e creditícios para biocombustíveis promovido por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· O consumo de biocombustíveis pode gerar aumento do preço dos alimentos
· A produção adicional de 5 bilhões de litros de etanol de milho de segunda safra (uma das matérias-primas utilizadas na produção de bioetanol) pode reduzir até 13,2 milhões de toneladas de CO2 e economizar até 160 mil hectares no uso da terra, principalmente área utilizada para a pecuária	· Volatilidade dos preços do etanol em comparação com a gasolina, afetando a competitividade econômica
· A produção de etanol de milho, especialmente da segunda safra, é uma fonte de energia renovável acessível, com potencial para gerar 5 bilhões de litros de etanol por ano, além de 600 GWh de energia elétrica e 4 milhões de toneladas de insumos para ração animal	· Redução de incentivos fiscais ou subsídios em nível federal ou estadual, o que pode desestimular investimentos
· Produção de etanol a partir do milho de segunda safra em áreas antes dedicadas exclusivamente à soja	· Insuficiência de infraestrutura de abastecimento exclusiva para etanol em postos de combustíveis fora dos grandes centros urbanos.
· Adoção de sistema como Bioenergia com captura e sequestro de carbono a redução de emissão de CO2e pode ser intensificada até 2030	· Limitações tecnológicas em veículos pesados, que ainda dependem majoritariamente do diesel.
· Impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, visando a consolidar a base tecnológica, a aumentar a competitividade dos biocombustíveis na matriz energética nacional e a acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· Baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento para etanol de segunda geração (2G) com aproveitamento de resíduos
· Continuidade de programas como Programa Renovabio, que busca reduzir a intensidade de carbono da matriz de transportes brasileira, promovendo a expansão do uso desses combustíveis na matriz energética e assegurando previsibilidade para o mercado de combustíveis	· Incertezas regulatórias quanto à obrigatoriedade da mistura e ao teor de etanol nos combustíveis.

· Sanção da Lei que institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), promoção do uso de biocombustíveis, de outros combustíveis de baixo teor de carbono e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira	· Falta de alinhamento entre políticas públicas estaduais e federais para estímulo à cadeia do etanol.
· Demanda por qualificação de mão de obra especializada para atuar em cadeias produtivas ligadas ao etanol, incluindo produção, logística e tecnologia veicular	· · Burocracia e demora nos processos de certificação e licenciamento ambiental de novas plantas produtoras
· Fortalecimento de políticas públicas nacionais e internacionais que valorizam práticas educativas voltadas à economia de baixo carbono	· Carência de capacitação técnica em comunidades rurais para produção sustentável de biomassa e operação de plantas modernas

Tabela 47 – Análise SWOT da medida "Promover o uso de biocombustíveis – biodiesel"

Promover o uso de biocombustíveis – biodiesel	
Forças	**Fraquezas**
· Diminuição da necessidade por importação de combustíveis fósseis	· Aumento do preço do diesel devido ao aumento da adição de biodiesel em sua composição
· O uso do biodiesel puro (B100) no transporte coletivo urbano é uma alternativa de operação 100% renovável que já havia sido testada desde 2009 em ônibus articulados da Linha Verde em Curitiba	· Falta de previsibilidade pode afetar mercado de biocombustíveis
· O uso de B100 está ocorrendo novamente em frotas de transporte de carga de algumas empresas, mediante autorização especial da ANP, com a condição do compartilhamento de informações sobre a performance dos veículos, com essa Agência e com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama	· Os testes laboratoriais de certificação das emissões, sob a supervisão de agente conveniado com o Ibama, foram realizados usando combustível de referência (B7) tornando necessários testes com combustível (B100)
· Frotas cativas tem autorização da ANP para uso de B100 (biodiesel puro)	· Biodiesel não é um combustível drop-in e tem um limite para a mistura ao diesel fóssil
· Biodiesel, etanol, diesel verde, biometano e bioquerosene de aviação são biocombustíveis regulamentados pela ANP, podendo ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil	· Em níveis mais altos de mistura, o biodiesel pode causar problemas de compatibilidade para veículos convencionais e emitir maiores quantidades de poluentes atmosféricos locais
· Teste e maturidade de uso de biocombustíveis em veículos pesados e aeronaves	· Baixa penetração de veículos adaptados ou preparados para uso eficiente de biocombustíveis alternativos, especialmente em frotas pesadas
· Capacitação da população a partir de realização de oficina em bioeconomia em comunidades costeiras de Paranaguá (PR)	· Falta de padronização e sinalização clara quando à demanda e/ou rotas/matérias primas aceitas pelo mercado internacional para biocombustíveis
	· Baixo engajamento de motoristas ao uso de biocombustível que ignora a paridade com outro combustível como gasolina e diesel apesar da menor taxa de pegada de carbono

Oportunidades	Ameaças
· Investimento de montadores em tecnologia de motores de veículos pesados visando o uso de biocombustíveis (biodiesel, biometano)	· Flutuação de preços de insumos agrícolas impactando o custo de produção do biodiesel
· Incentivos fiscais, financeiros e creditícios para biocombustíveis promovido por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· Competição com combustíveis fósseis subsidiados, dificultando a competitividade econômica do biodiesel
· Adoção de sistema como Bioenergia com captura e sequestro de carbono a redução de emissão de CO2e pode ser intensificada até 2030	· Riscos de descontinuidade ou redução de incentivos fiscais e financeiros (ex: isenção de ICMS, subsídios federais)
· Impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, visando a consolidar a base tecnológica, a aumentar a competitividade dos biocombustíveis na matriz energética nacional e a acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· Incertezas quanto à demanda estável de longo prazo, desestimulando investimentos privados no setor
· Continuidade de programas como Programa Renovabio, que busca reduzir a intensidade de carbono da matriz de transportes brasileira, promovendo a expansão do uso desses combustíveis na matriz energética e assegurando previsibilidade para o mercado de combustíveis	· Relato de não conformidade relacionada a adição de biodiesel ao diesel ocasionando formação de borra no tanque e entupimento de bicos injetores, por exemplo
· Sanção da Lei que institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), promoção do uso de biocombustíveis, de outros combustíveis de baixo teor de carbono e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira	· Estabelecimento de limite percentual obrigatório de mistura de biodiesel no diesel
· Promoção de inclusão social da agricultura familiar com medidas como Selo Biocombustível Social promovido pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)	· Falta de conhecimento técnico e capacitação especializada sobre manuseio, armazenamento e operação com biodiesel puro (B100)
	· Percepção negativa associada a problemas antigos com biodiesel, como entupimentos e formação de borra em motores, ainda que já superados.
	· Baixo engajamento de comunidades e municípios no debate sobre alternativas energéticas renováveis no transporte

Tabela 48 – Análise SWOT da medida "Promover o uso de biocombustíveis avançados – Diesel verde"

Promover o uso de biocombustíveis avançados – Diesel verde	
Forças	**Fraquezas**
· Diminuição da necessidade por importação de combustíveis fósseis	· Falta de previsibilidade pode afetar mercado de biocombustíveis
· Potencial agrícola do estado para produção de matéria-prima renovável (como soja, milho e resíduos agrícolas), com logística consolidada para escoamento	· Ausência de plantas industriais dedicadas à produção de diesel verde em escala comercial no estado
· Presença de usinas de produção de etanol e potencial de conversão tecnológica para produção de diesel verde, aproveitando a infraestrutura já existente	· Limitações na infraestrutura de armazenamento, mistura e distribuição de biocombustíveis avançados nos principais polos logísticos e aeroportuários
· Integração com o sistema de transporte de cargas (ferroviário e rodoviário), contribuindo para a substituição gradual do diesel fóssil em frotas públicas e privadas	· Falta de integração entre os produtores de biomassa e as cadeias industriais de biocombustíveis avançados
· Biodiesel, etanol, diesel verde, biometano e bioquerosene de aviação são biocombustíveis regulamentados pela ANP, podendo ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil	· Inexistência de uma logística consolidada para o escoamento e distribuição de SAF e diesel verde para os terminais de uso final (aeroportos e transportadoras)
· Existência de políticas estaduais alinhadas à descarbonização, como incentivos à produção e uso de biocombustíveis no setor de transportes	· Falta de padronização e sinalização clara quando à demanda e/ou rotas/matérias primas aceitas pelo mercado internacional para biocombustíveis
· Realização de testes resultam em lançamento de Diesel R produzido na Refinaria Getúlio Vargas do Paraná no mercado brasileiro e o aumento da produção tem previsão de aumentar em outras refinarias	· Baixo engajamento de motoristas ao uso de biocombustível que ignora a paridade com outro combustível como gasolina e diesel apesar da menor taxa de pegada de carbono
· Capacitação da população a partir de realização de oficina em bioeconomia em comunidades costeiras de Paranaguá (PR)	

Oportunidades	Ameaças
· Crescimento do mercado de finanças verdes, com possibilidade de emissão de títulos sustentáveis e acesso a fundos climáticos para apoiar projetos de diesel verde	· Falta de mecanismos de precificação do carbono ou incentivos fiscais consistentes que valorizem os benefícios ambientais do diesel verde
· Aumento da demanda nacional e internacional por combustíveis com menor pegada de carbono, ampliando mercados para produtores locais	· Risco de baixa atratividade econômica para investidores diante da volatilidade de preços de commodities agrícolas
· Potencial de geração de créditos de descarbonização no âmbito do RenovaBio, com valor econômico para produtores e distribuidores	· Ausência de cadeia logística consolidada para coleta e processamento de matérias-primas residuais (como óleos usados e gorduras animais)
· Adoção de sistema como Bioenergia com captura e sequestro de carbono a redução de emissão de CO2e pode ser intensificada até 2030	· Falta de políticas nacionais específicas de incentivo à produção e uso de diesel verde
· Impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, visando a consolidar a base tecnológica, a aumentar a competitividade dos biocombustíveis na matriz energética nacional e a acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· ·Incertezas regulatórias quanto à certificação e rastreabilidade do produto para efeitos de comercialização e obtenção de créditos de descarbonização
· Continuidade de programas como Programa Renovabio, que busca reduzir a intensidade de carbono da matriz de transportes brasileira, promovendo a expansão do uso desses combustíveis na matriz energética e assegurando previsibilidade para o mercado de combustíveis	· Morosidade nos processos de aprovação de novos combustíveis e de autorização de uso em frotas
· Sanção da Lei que institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), promoção do uso de biocombustíveis, de outros combustíveis de baixo teor de carbono e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira	· Ausência de metas obrigatórias ou mandatos específicos para o diesel verde no âmbito do RenovaBio
· Interesse crescente de universidades, institutos de pesquisa e setor produtivo por inovação em bioenergia e formação de profissionais qualificados	· Resistência de parte do setor de transporte e de usuários finais à adoção de novos combustíveis, por receio de impacto operacional ou de desempenho
· Experiência prévia da população e dos operadores logísticos com biocombustíveis, facilitando a transição tecnológica e operacional	· Carência de programas de formação e qualificação profissional voltados à cadeia produtiva de biocombustíveis avançados

Tabela 49 – Análise SWOT da medida "Promover o uso de biocombustíveis avançados – SAF"

Promover o uso de biocombustíveis avançados – SAF	
Forças	**Fraquezas**
· Diminuição da necessidade por importação de combustíveis fósseis	· Falta de previsibilidade pode afetar mercado de biocombustíveis
· Existência de capacidades técnicas e infraestrutura adaptável, incluindo polos produtivos de etanol, biodiesel e biometano, que podem ser aproveitados para a produção de SAF	· Ausência de plantas industriais dedicadas à produção de em escala comercial no estado
· Experiência acumulada com testes de biocombustíveis em motores pesados e aeronaves, favorecendo a inserção de SAF com menor risco tecnológico	· Limitações na infraestrutura de armazenamento, mistura e distribuição de biocombustíveis avançados nos principais polos logísticos e aeroportuários
· Biodiesel, etanol, diesel verde, biometano e bioquerosene de aviação são biocombustíveis regulamentados pela ANP, podendo ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil	· Falta de integração entre os produtores de biomassa e as cadeias industriais de biocombustíveis avançados
· Teste e maturidade de uso de biocombustíveis em veículos pesados e aeronaves	· Inexistência de uma logística consolidada para o escoamento e distribuição de SAF e diesel verde para os terminais de uso final (aeroportos e transportadoras)
· Capacitação da população a partir de realização de oficina em bioeconomia em comunidades costeiras de Paranaguá (PR)	· Falta de padronização e sinalização clara quando à demanda e/ou rotas/matérias primas aceitas pelo mercado internacional para biocombustíveis
	· Baixo engajamento de motoristas ao uso de biocombustível que ignora a paridade com outro combustível como gasolina e diesel apesar da menor taxa de pegada de carbono

Oportunidades	Ameaças
· Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), a lei também incentiva a pesquisa, a produção e a adição de combustível sustentável de aviação (SAF)	· Incertezas quanto à escala de demanda e retorno sobre o investimento, o que pode desestimular investidores.
· Adoção de sistema como Bioenergia com captura e sequestro de carbono a redução de emissão de CO2e pode ser intensificada até 2030	· Falta de linhas de financiamento específicas e estáveis para projetos de produção e uso de SAF
· Impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, visando a consolidar a base tecnológica, a aumentar a competitividade dos biocombustíveis na matriz energética nacional e a acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· Volatilidade de preços da matéria-prima agrícola que afeta a previsibilidade de custos do SAF
· Continuidade de programas como Programa Renovabio, que busca reduzir a intensidade de carbono da matriz de transportes brasileira, promovendo a expansão do uso desses combustíveis na matriz energética e assegurando previsibilidade para o mercado de combustíveis	· Necessidade de adequações tecnológicas e logísticas em aeroportos e sistemas de abastecimento para recebimento e uso do SAF
· Sanção da Lei que institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), promoção do uso de biocombustíveis, de outros combustíveis de baixo teor de carbono e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira	· Dificuldade na integração da cadeia de fornecimento (produção, armazenamento, distribuição e uso final)
· Fortalecimento de políticas públicas nacionais e internacionais que valorizam práticas educativas voltadas à economia de baixo carbono	· Ausência de metas nacionais vinculantes específicas para SAF no setor aéreo, o que desincentiva investimentos locais
	· Burocracia e lentidão na aprovação de novos processos e rotas tecnológicas pela ANP
	· Falta de incentivos fiscais e políticas estaduais específicas para estimular o desenvolvimento e uso de SAF
	· Baixo conhecimento técnico e operacional sobre SAF entre operadores do setor aéreo e agentes da cadeia produtiva
	· Resistência de setores tradicionais em migrar para alternativas ainda em desenvolvimento ou com pouca escala de produção
	· Déficit de programas de formação técnica voltados à bioeconomia e aos biocombustíveis avançados no estado

Tabela 50 – Análise SWOT da medida "Promover o uso de biocombustíveis avançados – Biometano"

Promover o uso de biocombustíveis avançados – Biometano	
Forças	**Fraquezas**
· Diminuição da necessidade por importação de combustíveis fósseis.	· Altos custos de investimento e operação das plantas de biogás (biometano)
· A produção e uso de biogás (biometano) proporciona redução nos custos com energia elétrica e insumos químicos	· Falta de previsibilidade pode afetar mercado de biocombustíveis
· Biodiesel, etanol, diesel verde, biometano e bioquerosene de aviação são biocombustíveis regulamentados pela ANP, podendo ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil	· Limitações na infraestrutura de armazenamento, mistura e distribuição de biocombustíveis avançados nos principais polos logísticos e aeroportuários
· Teste e maturidade de uso de biocombustíveis em veículos pesados e aeronaves	· Baixa disponibilidade de rede de abastecimento para biometano veicular em corredores logísticos estratégicos
· Capacitação da população a partir de realização de oficina em bioeconomia em comunidades costeiras de Paranaguá (PR)	· Falta de integração entre os produtores de biomassa e as cadeias industriais de biocombustíveis avançados
	· Falta de padronização e sinalização clara quando à demanda e/ou rotas/matérias primas aceitas pelo mercado internacional para biocombustíveis
	· Baixo engajamento de motoristas ao uso de biocombustível que ignora a paridade com outro combustível como gasolina e diesel apesar da menor taxa de pegada de carbono

Oportunidades	Ameaças
· Investimento de montadores em tecnologia de motores de veículos pesados visando o uso de biocombustíveis (biodiesel, biometano)	· Elevado custo inicial de implantação de plantas de purificação e compressão de biogás para produção de biometano
· Incentivos e/ou subsídios para aquisição de veículos a biometano, melhores condições em linhas de financiamento, e isenções ou descontos em tributos	· Riscos de viabilidade econômica em regiões com baixa escala de geração de resíduos ou pouca atratividade logística
· Desenvolvimento do potencial de produção de biometano, especialmente associado ao setor agropecuário no interior do País	· Dificuldade de acesso a linhas de financiamento específicas e mecanismos de incentivo com retorno compatível ao investimento
· Adoção de sistema como Bioenergia com captura e sequestro de carbono a redução de emissão de CO2e pode ser intensificada até 2030	· Concorrência com combustíveis fósseis subsidiados ou com preço mais competitivo em mercados não regulados
· Impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, visando a consolidar a base tecnológica, a aumentar a competitividade dos biocombustíveis na matriz energética nacional e a acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis por programas como Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)	· Infraestrutura limitada de distribuição e abastecimento de biometano veicular (ex: rede de postos ou gasodutos locais)
· Sanção da Lei que institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), promoção do uso de biocombustíveis, de outros combustíveis de baixo teor de carbono e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira	· Ausência de padronização técnica em tecnologias de purificação, compressão e uso veicular do biometano
· Fortalecimento de políticas públicas nacionais e internacionais que valorizam práticas educativas voltadas à economia de baixo carbono	· Dificuldades na integração do biometano à infraestrutura existente de transporte e consumo de GNV
	· Complexidade e morosidade nos processos de licenciamento ambiental e autorização da ANP para comercialização e uso do biometano
	· Falta de regulamentação estadual específica que facilite a conexão de produtores à rede de distribuição de gás
	· Insegurança jurídica relacionada à definição de responsabilidade entre geradores, operadores e distribuidores
	· Baixa consciência social sobre o biogás (biometano)
	· Carência de mão de obra qualificada para operar sistemas de produção e abastecimento de biometano.
	· Baixo nível de informação técnica sobre os benefícios e possibilidades do uso de biometano entre gestores públicos e privados

Tabela 51 – Análise SWOT para "Consumo de energia (térmica e elétrica) na indústria do cimento"

Forças	Fraquezas
• Potencial de redução de custos operacionais com payback reduzido; • Disponibilidade de tecnologias comerciais consolidadas.	• Baixo grau de automação nas plantas mais antigas; • Falta de cultura organizacional voltada à gestão energética.
Oportunidades	**Ameaças**
• Programas de eficiência energética da ANEEL, SENAI e BNDES; • Articulação com políticas de energia e clima estaduais.	• Incerteza econômica e riscos de lock-in tecnológico; • Ausência de exigência normativa para melhoria de desempenho energético.

Tabela 52 – Análise SWOT para "Processo por via seca com múltiplos estágios"

Forças	Fraquezas
• Redução direta e significativa no consumo térmico específico; • Tecnologia madura e amplamente utilizada internacionalmente.	• Obsolescência de plantas existentes; • Alto custo e tempo de parada operacional para retrofit.
Oportunidades	**Ameaças**
• Acesso a fundos climáticos e mecanismos de apoio à indústria de base; • Potencial de atrair novos investimentos com ganhos de competitividade.	• Barreiras institucionais e ausência de política industrial ativa; • Inércia tecnológica e resistência à substituição de ativos.

Tabela 53 – Análise SWOT para "Adição de carboneto de escória"

Forças	Fraquezas
• Redução significativa de emissões por tonelada de cimento; • Alinhamento com práticas reconhecidas internacionalmente.	• Dependência de sinergia com setor siderúrgico integrado; • Variabilidade da qualidade da escória disponível.
Oportunidades	**Ameaças**
• Desenvolvimento de cadeias logísticas integradas cimento-aço; • Inserção preferencial em compras públicas sustentáveis.	• Concorrência com outros usos da escória (ex: pavimentação); • Volatilidade de oferta de insumo em cenários de baixa produção siderúrgica.

Tabela 54 – Análise SWOT para "Melhorias no sistema de combustão"

Forças	Fraquezas
• Redução rápida do consumo de energia térmica e melhora da estabilidade do forno; • Tecnologia já disponível no mercado nacional.	• Complexidade de integração com sistemas de controle existentes; • Necessidade de manutenção especializada contínua.
Oportunidades	**Ameaças**
• Possibilidade de acesso a linhas de financiamento via eficiência energética; • Potencial de integração com outras medidas de automação.	• Ausência de regulação técnica que exija melhorias de eficiência; • Retorno financeiro da medida pode ser considerado insuficiente para o investimento inicial.

Tabela 55 – Análise SWOT para "Sistema de controle avançado (forno elétrico)"

Forças	Fraquezas
• Redução do consumo elétrico e aumento da eficiência operacional; • Melhoria da qualidade e estabilidade do processo produtivo.	• Necessidade de mudanças organizacionais e de capacitação; • Alto custo de implementação em plantas com baixa escala.
Oportunidades	**Ameaças**
• Acesso a linhas de crédito para digitalização industrial; • Inserção em programas de modernização da indústria nacional.	• Incerteza sobre retorno do investimento em mercados voláteis; • Riscos de obsolescência tecnológica sem atualização contínua.

Tabela 56 – Análise SWOT para "Preaquecimento da sucata"

Forças	Fraquezas
• Redução de 30–60 kWh/t aço no consumo elétrico; • Aproveitamento de energia residual do processo.	• Exige controle rigoroso da qualidade da sucata; • Complexidade técnica e riscos operacionais.
Oportunidades	**Ameaças**
• Inserção em programas de eficiência energética e ecoeficiência; • Possibilidade de certificação ambiental com melhoria de desempenho energético.	• Falta de padronização de sucata no mercado nacional; • Possíveis restrições ambientais associadas ao novo sistema de exaustão.

Tabela 57 – Análise SWOT para "Queimadores tipo oxy-fuel"

Forças	Fraquezas
• Aumento da eficiência térmica do processo; • Redução de emissões de NO_x e maior concentração de CO_2 nos gases de exaustão.	• Custo adicional elevado com fornecimento de oxigênio; • Dependência de fornecedores externos de gás industrial.
Oportunidades	**Ameaças**
• Pré-condição técnica para futura adoção de CCUS; • Potencial de integração com projetos de inovação tecnológica.	• Ausência de escala comercial para a tecnologia no setor de aço brasileiro; • Riscos de descontinuidade de suprimento ou variação de preço do oxigênio.

Tabela 58 – Análise SWOT para "Captura, Uso e Armazenamento de Carbono (CCUS)"

Forças	Fraquezas
• Única tecnologia capaz de mitigar emissões de processo em setores como cimento e cal; • Potencial de abatimento significativo (>90%) por unidade de processo.	• Necessidade de elevada escala para viabilidade econômica; • Ausência de casos práticos ou pilotos no Brasil.
Oportunidades	**Ameaças**
• Acesso a financiamento internacional (GCF, GEF, cooperação bilateral); • Inserção do Paraná em redes estratégicas de inovação e mitigação industrial.	• Risco de lock-out regulatório sem marcos legais; • Perda de competitividade caso outros estados avancem primeiro na implementação de CCUS.

Tabela 59 - Análise SWOT da estratégia: Potencializar ações de sensibilização e gestão de resíduos sólidos e efluentes para redução das emissões de GEE.

Estratégia	**Potencializar ações de sensibilização e gestão de resíduos sólidos e efluentes para redução das emissões de GEE**
Medidas	"Reduzir a produção de resíduos sólidos per capita, tendo como base a geração média apresentada no PERS/PR"; "Reduzir o volume de resíduos orgânicos e recicláveis destinado a aterros sanitários, considerando a composição de RSU (%) apresentada no PERS/PR"; "Aprimorar a estrutura de aterros sanitários (em conjunto com consórcios regionais e estações de transbordo) e auxiliar no encerramento de lixões"; "Aumentar o percentual de cobertura da área atendida por sistemas de coleta de efluentes"; "Reduzir as descargas de efluentes sem tratamento no solo e em corpos hídricos", e "Aumentar o volume de resíduos destinados para compostagem e biodigestão (industrial, agrícola e doméstica)".

Forças	**Fraquezas**
• Capacidade técnica e tecnológica. • Redução direta das emissões de metano. • Existência do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS/PR) como diretriz estratégica. • Disponibilidade de metodologias e tecnologias voltadas para sensibilização e educação ambiental da população. • Interesse público e crescente atenção da mídia e da sociedade sobre os impactos ambientais dos resíduos e efluentes. • Existência de instrumentos regulatórios que orientam a gestão integrada de resíduos.	• Necessidade de investimentos em infraestrutura, equipamentos e logística. • Dependência de recursos públicos ou de financiamento externo para implementação das medidas. • Custos recorrentes para implementação e manutenção dos sistemas de tratamento de resíduos e efluentes. • Deficiência técnica e gerencial em municípios de pequeno e médio porte. • Insuficiência ou fragilidade das ações de fiscalização e orientações das práticas de gestão de resíduos sólidos e efluentes. • Dificuldades de articulação entre consórcios regionais e órgãos gestores. • Resistência sociocultural da população a mudanças de hábitos. • Volume de resíduos com baixa reciclabilidade ou contaminados. • Déficit em programas de educação ambiental e de engajamento comunitário. • Baixa eficiência nos serviços de coleta seletiva porta a porta e de triagem dos recicláveis coletados. • Ações de compostagem doméstica ou em larga escala ainda insipientes.

Oportunidades	Ameaças
• Linhas de financiamento e incentivos fiscais direcionados à transição para uma economia de baixo carbono (nacionais e internacionais). • Expansão do mercado de créditos de carbono. • Parcerias entre setor público, privado e terceiro setor para a modernização da gestão de resíduos e efluentes. • Desenvolvimento e disseminação de tecnologias descentralizadas e de baixo custo para o tratamento local de efluentes e resíduos sólidos. • Iniciativas de inovação aberta e cooperação entre universidades, centros de pesquisa e empresas. • Valorização da imagem institucional de municípios e empresas com boas práticas ambientais (ESG). • Atração de investimentos nacionais e estrangeiros em projetos sustentáveis. • Possibilidade de integração com políticas climáticas, de saneamento e de saúde pública.	• Crescimento populacional. • Falta de instrumentos econômicos robustos que viabilizem a entrada do setor privado em escala. • Eventos climáticos extremos (enchentes e secas) comprometendo o funcionamento de sistemas de drenagem e tratamento. • Persistência de práticas inadequadas como lixões e lançamentos ilegais de efluentes. • Descontinuidade de políticas públicas, especialmente em períodos de transição administrativa. • Longo prazo de retorno financeiro dos investimentos em infraestrutura. • Pressão contrária de setores econômicos beneficiados por modelos tradicionais e insustentáveis de gestão de resíduos. • Diversificação excessiva e não padronizada das embalagens, dificultando a logística reversa e o reaproveitamento. • Conflitos de interesse com setores econômicos que se beneficiam da manutenção do modelo linear de descarte. • Aumento do consumo gerando maior volume de resíduos e carga poluidora.

Legenda: GEE: Gases de Efeito Estufa.
Fonte: Elaborada por EnvEx Engenharia e Consultoria e Eos (2025).

Tabela 60 - Análise SWOT da Estratégia: Implementar medidas de valorização energética do metano proveniente da degradação resíduos sólidos e efluentes.

Estratégia	**Implementar medidas de valorização energética do metano proveniente da degradação resíduos sólidos e efluentes**
Medidas	"Implementar sistemas de queima de gases (captação, soprador e *flares*) em aterros sanitários"; "Implementar sistemas de aplicação de calor para tratamento de resíduos sólidos, com ou sem geração de energia"; "Implementar sistemas de aproveitamento de biogás e produção de biometano em aterros sanitários e propriedades rurais", e "Aumentar a taxa de aproveitamento energético do lodo proveniente de ETA e ETE".

Forças	**Fraquezas**
• Redução direta das emissões de metano, com aproveitamento energético do biogás. • Estímulo ao uso de combustíveis e fontes renováveis de energia. • Capacidade técnica e tecnológica instalada em instituições de pesquisa e universidades do Paraná. • Marco legal e regulatório consolidado, com o PERS/PR e legislações correlatas em vigor. • Existência de programas e iniciativas em níveis estadual e federal para apoio à gestão de resíduos e efluentes. • Contribuição direta para o alcance de metas dos ODS, especialmente os ODS 6, 7, 10, 11, 12 e 13. • Potencial para geração de energia, fertilizantes orgânicos e outros insumos a partir do reaproveitamento.	• Cobertura de coleta de resíduos em diversas regiões do estado. • Dependência de financiamento externo (federal e internacional) para implementação das ações. • Elevados custos iniciais para instalação e operação de tecnologias. • Déficit de capacitação técnica entre gestores e operadores municipais. • Fiscalização ambiental fragilizada ou insuficiente para garantir o cumprimento das normas. • Desconhecimento por parte dos gestores locais sobre alternativas economicamente viáveis para o aproveitamento de resíduos. • Infraestrutura precária em municípios pequenos, dificultando a viabilidade operacional das medidas. • Dificuldade para agregar municípios para garantir ganhos de escala. • Congregar volume suficiente de resíduos para viabilizar tecnologias.

Oportunidades	Ameaças
• Geração de emprego e renda em cadeias produtivas locais vinculadas à compostagem, biodigestão e reciclagem. • Expansão do mercado de créditos de carbono para projetos de redução certificada de emissões. • Fortalecimento da governança local com cooperação entre consórcios, municípios e setor privado. • Desenvolvimento de mercados regionais para biocombustíveis, fertilizantes orgânicos e outros coprodutos. • Avanço de tecnologias acessíveis e eficientes para valorização energética e material de resíduos. • Exigências crescentes de mercados internacionais por conformidade com critérios ESG. • Existência de programas estaduais e federais de educação ambiental que podem apoiar mudanças culturais. • Potencial para estruturação de parcerias público-privadas para viabilizar e financiar a infraestrutura necessária.	• Ausência ou insuficiência de incentivos econômicos para atração de investidores privados. • Intensificação de eventos climáticos extremos (enchentes e estiagens) afetando operações de coleta, transporte e tratamento. • Resistência social e política à implementação de novas tecnologias. • Riscos de descontinuidade e desarticulação de políticas públicas com mudanças de governo. • Infraestrutura precária em municípios pequenos, dificultando a viabilidade operacional das medidas.

Legenda: PERS: Plano Estadual de Resíduos Sólidos. ODS: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. ESG: Ambiental, Social e Governança Corporativa, do inglês *Environmental, Social and Governance*.
Fonte: Elaborada por EnvEx Engenharia e Consultoria e Eos (2025).


FSFA
Fundação São Francisco de Assis

PARANÁ
PROJETOS

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL