

# RELATÓRIO DE EXECUÇÃO DO OBJETO

## *P2.1 – DIAGNOSTICO SETORIAL AFOLU*

**Referência: INVESTMINAS/CT/25/2024**

Este relatório compõe o Produto 2.1 – Diagnóstico Setorial AFOLU, conforme previsto na Cláusula 6ª do Contrato INVESTMINAS/CT/25/2024. O objeto foi executado em sua integridade durante o período de setembro a dezembro de 2024, incluindo revisões e ajustes em março de 2025.



# Rota para a descarbonização da economia de Minas Gerais através da promoção de investimentos privados

*Diagnóstico Setorial –AFOLU*



 INVEST  
MINAS

 WAY  
CARBON

# Sumário

ACRÔNIMOS.....	6
INTRODUÇÃO.....	9
CONTEXTUALIZAÇÃO .....	10
Desafios e oportunidades da agenda climática no Brasil e em Minas Gerais .....	10
Enfrentamento dos desafios climáticos em Minas Gerais.....	13
DIAGNÓSTICO SETORIAL – AFOLU.....	17
Contextualização sobre as emissões do setor em Minas Gerais.....	18
Agropecuária .....	19
Agricultura.....	21
Pecuária.....	23
Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas .....	24
Benchmarking das tecnologias previstas nos planos estaduais de descarbonização .....	25
O setor de AFOLU no PLAC e no PD de Minas Gerais.....	26
Soluções e barreiras para redução de emissões no setor AFOLU.....	29
Pecuária de baixa emissão de carbono .....	29
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).....	29
Intensificação da pecuária bovina .....	30
Melhoramento genético .....	30
Manejo nutricional e uso de aditivos .....	31
Recuperação de pastagens .....	31
Manejo rotacionado .....	32
Manejo de dejetos da produção animal (MDPA).....	32
Compostagem .....	33
Biodigestão anaeróbia .....	33
Agricultura de baixa emissão de carbono .....	34
Sistema de Plantio Direto (SPD) .....	34
Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).....	35
Adubação verde.....	36
Manejo adequado de fertilizantes nitrogenados .....	36



Fertilizantes de eficiência aumentada (FEA).....	37
Amônia de baixo carbono .....	38
Manejo adequado de corretivos .....	38
Uso agrícola de biocarvão.....	39
Áreas nativas e florestas.....	40
Redução do desmatamento e incremento das áreas protegidas .....	40
Restauração de áreas nativas e degradadas .....	42
Florestas comerciais .....	43
Iniciativas transversais.....	43
Biogás oriundo de resíduos agropecuários .....	43
<b>CLASSIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>DESTAQUES E PRÓXIMOS PASSOS .....</b>	<b>50</b>
Próximos passos.....	51
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>



## Índice de figuras

Figura 1: Representatividade das emissões por setor - BR e MG.....	11
Figura 2: Fontes de emissão e composição dos setores avaliados no projeto Rota.....	17
Figura 3: Emissões líquidas setoriais de Minas Gerais (A; MtCO <sub>2</sub> e) e a representatividade (B; %) das categorias de emissão dentro do setor AFOLU.....	18
Figura 4: Principais fontes de emissão da agricultura.....	21
Figura 5: Emissões em solos manejados.....	22
Figura 6: Emissões relacionadas a resíduos culturais.....	22
Figura 7: Emissões no setor de LULUCF no Brasil e Minas Gerais.....	24
Figura 8: Critérios de classificação das tecnologias de descarbonização.....	47
Figura 9: Resultado da avaliação das tecnologias.....	49

## Índice de tabelas

Tabela 1: Participação de Minas Gerais na produção nacional de commodities agrícolas ...	20
Tabela 2: Ações propostas pelo PLAC-MG e PD-MG para a descarbonização do setor AFOLU até 2050.....	27
Tabela 3: Notas atribuídas aos projetos avaliados.....	48



# ACRÔNIMOS

ABREN – Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos

AFOLU – Agropecuária, Floresta e Outros Usos da Terra

AGB – *Above-ground Biomass* (Biomassa Acima do Solo)

ALMG – Assembleia Legislativa de Minas Gerais

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

APP – Área de Proteção Permanente

ASIFLOR – Associação das Siderúrgicas para Fomento Florestal

ATER – Assistência Técnica e Extensão Rural

BB – Banco do Brasil

BGB – *Below-ground Biomass* (Biomassa Abaixo do Solo)

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CH<sub>4</sub> – Metano

CHAMP – Coligação para Parcerias Multinível de Alta Ambição para a Ação Climática

CIMC – Instituição do Comitê Intragovernamental de Energia e Mudanças Climáticas

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CODEMGE – Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais

COP – Conferência das Partes

DOM – *Dead Organic Matter* (Matéria orgânica morta)

DMPP – 3,4-Dimetilpirazol Fosfato

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais



ESG – Ambiental, Social e Governança

FAEMG – Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais

FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio FEA – Fertilizantes de eficiência aumentada

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

FGV – Fundação Getulio Vargas

GEE – Gás de Efeito Estufa

HFC – Hidrofluorcarbonetos

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IMVC – Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática

ILPF – Integração Lavoura, Pecuária e Floresta

IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

LCAS – Cúpula de Ação Climática Local

LULUCF – *Land use, Land-Use Change, and Forestry* (Uso da Terra, Mudança de uso da Terra e Florestas)

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar

MDPA – Manejo de Dejetos da Produção Animal

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

MRV – Mensuração, Reporte e Verificação



N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso

NbS – *Nature-based Solutions* (Soluções Baseadas na Natureza)

NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

NBPT – N-(n-butil) tiofosfórico triamida

PD-MG – Plano de Descarbonização para o Estado de Minas Gerais

PEMC-MG – Política Estadual sobre Mudanças Climáticas

PIB – Produto Interno Bruto

PLAC-MG – Plano de Ação Climática de Minas Gerais

PRA – Programa de Regularização Ambiental

PSA – Pagamento por Serviços Ambientais

REDD+ – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal

RenovaBio – Política Nacional de Biocombustíveis

RL – Reserva Legal

RGIs – Regiões Geográficas Imediatas

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SICAR – Sistema de Cadastro Ambiental Rural

SF<sub>6</sub> – Hexafluoreto de Enxofre

SOC – *Soil organic carbon* (Carbono Orgânico do solo)

SPD – Sistema de Plantio Direto

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

WRI – *World Resources Institute* (Instituto de Recursos Mundiais)



# INTRODUÇÃO

Este documento tem como objetivo apresentar um diagnóstico inicial para o setor de AFOLU (Agropecuária, Florestas e Outros Usos da Terra) no estado de Minas Gerais, compondo o *roadmap* setorial em desenvolvimento no âmbito do programa Rota da Descarbonização<sup>1</sup>.

Para atingir esse propósito, o documento está organizado em quatro seções:

- **Seção 1:** aborda os impactos das mudanças climáticas no Brasil, destacando a conexão entre compromissos climáticos nacionais e políticas subnacionais. Inclui uma comparação dos perfis de emissões do Brasil e de Minas Gerais e um panorama das iniciativas de Minas Gerais na agenda climática;
- **Seção 2:** apresenta a definição adotada pelo projeto Rota para classificar as emissões de seus setores-chave, seguida do diagnóstico do setor AFOLU sob a perspectiva da descarbonização e o perfil deste setor no estado de Minas Gerais. Na sequência, traz um *benchmarking* de tecnologias adotadas em planos de descarbonização de outros estados brasileiros e a identificação de soluções e barreiras para a redução de emissões associadas ao setor AFOLU;
- **Seção 3:** apresenta a classificação de tecnologias existentes para a descarbonização do setor AFOLU, considerando potencial de redução de emissões e critérios ligados à implementação dessas tecnologias no estado de Minas Gerais;
- **Seção 4:** resume os principais pontos discutidos nas seções anteriores e apresenta os próximos passos do projeto na sequência do diagnóstico setorial.

---

<sup>1</sup> O “Rota da Descarbonização” é um programa do Governo do Estado de Minas Gerais, com apoio da Invest Minas, da Codemge (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais) e de várias secretarias estaduais. A descrição detalhada do programa é feita na seção de contextualização.



# CONTEXTUALIZAÇÃO

## Desafios e oportunidades da agenda climática no Brasil e em Minas Gerais

As mudanças climáticas e suas consequências são alguns dos principais desafios a serem enfrentados no século XXI. Estima-se que as atividades humanas tenham causado um aquecimento da temperatura terrestre de 1,1°C entre 2011 e 2021, em relação ao período pré-industrial (1850-1900) (IPCC, 2023). Estudos indicam que é provável que este aumento atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso as metas de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) não se concretizem (IPCC, 2023).

Nesse contexto, em 2015, na 21ª Conferência das Partes (COP 21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 195 países assinaram o Acordo de Paris, comprometendo-se a limitar o aquecimento global a 2°C, com esforços para 1,5°C (MMA, s.d.). Para isso, submeteram suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), que são metas de redução de emissões de GEE ajustadas aos contextos sociais e econômicos de cada país. O Brasil ratificou sua NDC em 2016, comprometendo-se a reduzir suas emissões de GEE em 37% até 2025, em relação aos níveis de 2005 (MMA, s.d.). Oito anos depois, em 2024, o Brasil revisou suas metas e, atualmente, o compromisso é de redução de 59 a 67% das emissões até 2035, em relação a 2005 (Brasil, 2024a).

O estabelecimento de metas pelo Brasil tem um papel importante na redução das emissões globais, visto que, em 2019, o país ocupava a 6ª posição entre os mais emissores do mundo (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2024). Naquele ano, o Brasil gerou 2,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, representando um aumento de 15% em relação a 2018 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). Em 2019, as emissões associadas a Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Floresta (LULUCF, na sigla em inglês), incluindo o desmatamento em todos os biomas, representaram 51% do total de emissões. O setor agropecuário contribuiu com 24%, seguido pelo setor de energia com 17%. Em menor escala, os setores de Resíduos e de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, na sigla em inglês) respondem por cerca de 4% cada (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024).

Para aumentar a ambição climática e a efetividade dos compromissos assumidos a nível nacional, é preciso envolver os governos subnacionais (cidades e estados) na redução de emissões, no fortalecimento da resiliência territorial e na ampliação dos esforços nacionais para avançar na agenda climática e ambiental. Em 2023, a COP 28 mostrou a importância dos líderes locais na ação climática, reunindo mais de 500 governos locais na Cúpula inaugural da Ação Climática Local (LCAS), na qual foi lançada a Coligação para Parcerias Multinível de Alta Ambição para a Ação Climática (CHAMP, na sua sigla em inglês). Endossada por 72 países, entre eles o Brasil, a CHAMP visa fortalecer a cooperação entre governos nacionais e subnacionais no planejamento e execução de estratégias climáticas, integrando ações locais nas NDCs para promover maiores reduções de emissões e aumentar a

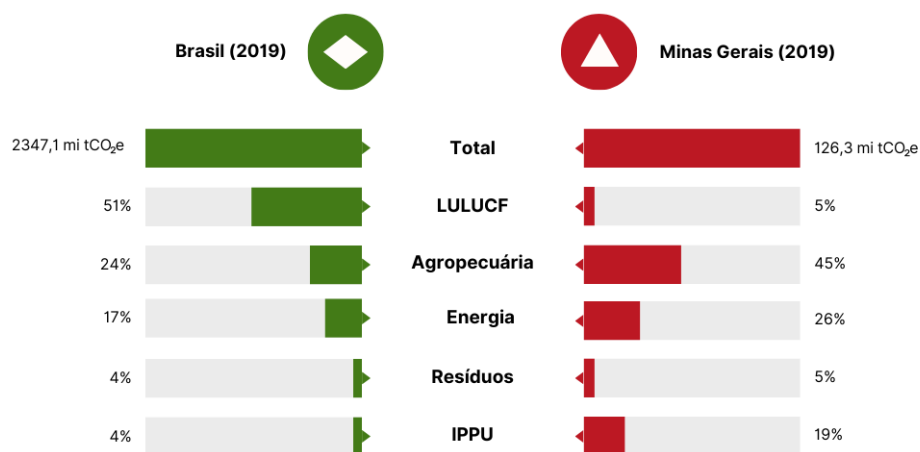


resiliência climática. Em 2025, o Brasil será o anfitrião da COP 30, o que oferece ao país a oportunidade de se posicionar como liderança climática no cenário internacional, apresentando compromissos e ações ambiciosas. Esse movimento envolve a revisão das políticas nacionais visando o atingimento das metas estabelecidas na nova NDC, bem como o fortalecimento da participação dos governos locais nessa agenda. Para isso, é fundamental observar as particularidades de cada estado na definição de políticas e ações para o atingimento das metas climáticas nacionais.

Nessa linha, vale destacar o perfil de emissões do estado de Minas Gerais e do Brasil, a fim de compreender como essa dinâmica pode informar a estratégia de descarbonização do estado e quais são os pontos de encontro com o contexto nacional. Minas Gerais possui um perfil de emissões concentradas em setores distintos daqueles associados às emissões do país, exigindo uma estratégia diferente da nacional para a descarbonização do estado.

Em 2019, o estado de Minas Gerais representou cerca de 5% das emissões brasileiras, emitindo 126,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, com o setor agropecuária responsável por 45% dessas emissões. Os setores de energia, processos industriais e uso de produtos, uso da terra e resíduos apresentaram participações de 26%, 19%, 5% e 5% respectivamente (MINAS GERAIS, 2022), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Representatividade das emissões por setor - BR e MG



Fonte: Elaboração própria com base em Minas Gerais (2022) e Observatório do Clima (2024)

A maior diferença entre o perfil de emissões nacional e o de Minas Gerais está na representatividade do setor AFOLU (LULUCF + agropecuária). Enquanto o desmatamento segue como a principal alavanca de emissões no território nacional em LULUCF, Minas Gerais já possui um montante significativo de áreas consolidadas, ou seja, áreas que passaram por um processo de remoção da vegetação nativa no passado e atualmente são destinadas a



algum tipo de atividade econômica. Ainda, vale destacar que o estado é o 5º do Brasil em área de vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2024), atrás apenas de 3 estados da Amazônia legal, onde as regras do código florestal são mais exigentes em termos de percentual de reserva legal (BRASIL, 2012), e da Bahia. Além disso, o estado de Minas Gerais vem reduzindo anualmente o desmatamento por meio do fortalecimento da fiscalização ambiental e do monitoramento contínuo da vegetação, o que explica uma participação reduzida do setor LULUCF em suas emissões, se comparado ao Brasil (MINAS GERAIS, 2022). O protagonismo das emissões de Minas Gerais é observado na atividade pecuária, principalmente na bovinocultura, cujo rebanho é o terceiro maior do país e mantenedor da maior produção leiteira nacional (MINAS GERAIS, 2022).

Além do setor agropecuário, os setores de IPPU e energia também possuem uma participação mais elevada em Minas Gerais do que no Brasil, o que vai ao encontro da representatividade desses setores na economia do estado. Minas Gerais possui uma forte atividade industrial, especialmente em relação à produção de metais, que influenciam nas emissões de IPPU, sendo responsável por 40% do valor da produção mineral comercializada no Brasil em 2019 (MCTI, 2020).

Já com relação ao setor de energia, que contempla os subsetores de combustão móvel e estacionária<sup>2</sup>, Minas Gerais foi o segundo estado brasileiro com maior volume de licenciamento de veículos em 2019, representando 21% do total de registros no país (ANFAVEA, 2020). As emissões relacionadas ao uso dos veículos automotores, bem como as emissões associadas à combustão estacionária (queima de combustíveis) nas indústrias, contribuem para a maior participação do setor nas emissões do estado, quando comparado ao país como um todo.

Essa dinâmica particular do estado é importante sob duas perspectivas complementares: por um lado, ressalta a necessidade de integrar políticas climáticas nacionais às realidades econômicas locais, garantindo que as estratégias adotadas acomodem especificidades subnacionais para que alcancem os resultados esperados; e, de outro, reforça a importância da construção de estratégias locais baseadas em uma investigação robusta da realidade local e dos desafios de implementação por ela colocados, promovendo assim uma ação climática efetiva e equilibrada a nível subnacional, capaz também de contribuir com a descarbonização do país.

---

<sup>2</sup> As classificações utilizadas nos setores do Rota se diferenciam das classificações utilizadas no Inventário de Minas Gerais. Nesse caso, o setor de transporte representa as emissões de combustão móvel. As diferenças entre as classificações setoriais no Inventário de Minas Gerais e no Rota são apresentadas no capítulo “DIAGNÓSTICO SETORIAL –AFOLU”.



# Enfrentamento dos desafios climáticos em Minas Gerais

Desde 2005, Minas Gerais vem realizando diversas ações de combate às mudanças climáticas, que contribuem não apenas para a redução das emissões no estado, mas servem de modelo para o restante do país. A lista abaixo apresenta um resumo das principais ações realizadas pelo estado no combate às mudanças climáticas.

## 2005 Criação do Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas

O Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas foi criado como um espaço de diálogo entre diversos atores, incluindo o governo, a sociedade civil e o setor privado. Seu objetivo principal foi promover a discussão no estado sobre o fenômeno das mudanças climáticas e subsidiar a formulação de políticas de mitigação e adaptação. Esta iniciativa marcou o início da estruturação formal das políticas climáticas no estado.

## 2006 Projeto-piloto de Compras Públicas Sustentáveis no Brasil

Este projeto-piloto foi fundamental para fomentar as compras públicas sustentáveis no Brasil, com Minas Gerais participando ativamente. A adoção de práticas de compras sustentáveis reduz o impacto ambiental das compras públicas e sua cadeia de fornecimento, incentivando o uso de tecnologias e produtos com menor emissão de carbono.

## 2007 Associação à Rede ICLEI

A adesão de Minas Gerais à rede Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI) demonstra o compromisso em alinhar-se com práticas internacionais de sustentabilidade. O ICLEI é uma organização global que apoia governos locais no desenvolvimento de políticas e ações de sustentabilidade, com foco em adaptação e mitigação climática.

## 2008 1º Inventário de GEE do Estado de Minas Gerais

Este primeiro inventário abrange as emissões de 2005 e representou um passo crucial na mensuração das emissões de GEE em Minas Gerais. O levantamento de dados precisos foi fundamental para a formulação de políticas eficazes de mitigação e adaptação, além de orientar as metas de descarbonização.

## 2013 2º Inventário de GEE do Estado de Minas Gerais

Com a contabilização das emissões de 2010, o segundo inventário de GEE consolidou a prática de monitoramento contínuo das emissões no estado. Ele serviu



como uma atualização importante para avaliar o progresso na redução de emissões e ajustar estratégias políticas.

**2014 Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais**

O Plano de Energia e Mudanças Climáticas de 2014 trouxe um foco especial para os arranjos institucionais e de governança no estado, estabelecendo diretrizes claras para mitigar os impactos das mudanças climáticas no setor energético.

**2014 Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais**

Este estudo foi um dos primeiros a mapear vulnerabilidades específicas do estado às mudanças climáticas, identificando áreas e setores mais suscetíveis. O estudo possibilitou a elaboração e priorização de políticas de adaptação, essenciais para mitigar riscos climáticos como secas, enchentes e ondas de calor.

**2016 3º Inventário de emissões de GEE**

O terceiro inventário de GEE consolidou dados de múltiplos anos (ano-base 2005-2014), permitindo uma análise de longo prazo das emissões do estado. Este levantamento foi essencial para avaliar o impacto das políticas implementadas e ajustar estratégias visando a redução de emissões.

**2021 Criação do Fórum Mineiro de Energia e Mudanças Climáticas**

Este fórum trouxe um enfoque renovado na discussão de políticas climáticas, especificamente sobre o setor energético.

**2021 Adesão ao *Race to Zero***

A adesão ao *Race to Zero*, em 2021, marca o compromisso de Minas Gerais em alcançar a neutralidade de carbono até 2050, sendo o primeiro estado brasileiro a aderir à iniciativa. Esta iniciativa global envolve governos e empresas comprometidos com a implementação de ações robustas de descarbonização.

**2022 4º Inventário de GEE do Estado de Minas Gerais**

A quarta edição do Inventário de Emissões e Remoções de GEE de Minas Gerais abrange as emissões de 2019. Priorizando transparência e participação, o inventário foi elaborado com a colaboração de entidades públicas, setor privado e instituições de pesquisa, garantindo maior precisão nos dados sobre emissões e remoções no estado.

**2022 Plano de descarbonização para o estado de Minas Gerais dentro de um Brasil clima neutro em 2050**

O Plano de Descarbonização (PD) propôs um conjunto de ações voltadas à meta de que o estado alcance a neutralidade climática de suas atividades econômicas a um



mínimo custo possível até 2050. Os estudos que subsidiaram a construção do plano incluem a modelagem dos cenários de referência e de descarbonização.

**2023 Cartilha para elaboração de Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica**

Desenvolvida pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), a cartilha pretende orientar os municípios mineiros para a elaboração de seus Planos de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica, exigidos pela Lei Federal 11.428/06 (Lei da Mata Atlântica) além de disponibilizar capacitações e modelos de documento.

**2023 Plano Estadual de Ação Climática (PLAC-MG)**

O Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais tem por objetivo auxiliar na gestão climática do estado, trazendo ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e enfrentamento à mudança do clima, acelerando o desenvolvimento urbano de baixo carbono por meio de novas tecnologias e inovações.

**2023 Rota da Descarbonização**

O programa Rota da Descarbonização é uma iniciativa do Governo de Minas Gerais, com apoio da Invest Minas, que visa promover investimentos privados na economia de baixo carbono. Com esse objetivo, e mobilizando atores-chave nos setores público e privado, o programa desenvolverá uma rota estratégica (*roadmap*) para a descarbonização dos setores mais relevantes em termos de emissões de GEEs, contribuindo assim para o alcance das metas estabelecidas no PLAC-MG e para a realização do compromisso de Minas Gerais com a campanha *Race to Zero*.

**2024 Instituição do Comitê Intragovernamental de Energia e Mudanças Climáticas (CIMC)**

Publicação do Decreto nº 48.896, de 18/09/2024, que institui o Comitê Intragovernamental de Energia e Mudanças Climáticas, com o objetivo de subsidiar a formulação e monitorar a execução de ações e políticas públicas relacionadas à mudança do clima e às energias renováveis no âmbito do Poder Executivo.

**2024 Monitoramento do PLAC: MRV Climático**

A ferramenta de Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV Climático) foi lançada durante a participação do Governo de Minas na 29ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP29), em Baku, no Azerbaijão. A ferramenta será fundamental para mensurar o avanço sistemático da execução do Plano Estadual de Ação Climática (PLAC).



## 2021-2024 Participação em Eventos Internacionais

Desde 2021, Minas Gerais tem participado ativamente das conferências climáticas da ONU e de outros eventos importantes para a agenda climática, como a Assembleia Geral da ONU – Cúpula da Ambição Climática, em Nova York. Essa participação não apenas reforça o compromisso do estado com as negociações climáticas globais, mas também destaca a importância do diálogo internacional na formulação de políticas climáticas eficazes em níveis local e regional.

Considerando a relevância das mudanças climáticas para as condições sociais, econômicas e ambientais do estado, destaca-se que Minas Gerais aderiu, em 2021, à campanha *Race to Zero*, agenda global de compromisso e estabelecimento de metas para alcançar a neutralização das emissões de carbono até 2050, sendo o primeiro estado brasileiro a aderir à iniciativa. Desde então, Minas Gerais tem se destacado na realização de estudos e na implementação de políticas e ações voltadas para o enfrentamento das mudanças climáticas, passos necessários para o avanço do estado nas fases na campanha, a exemplo do lançamento da ferramenta de MRV Climático na COP 29, em novembro de 2024.

Na esteira dessas iniciativas, e tomando como fundamento o Plano Estadual de Descarbonização (PD) e o Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais (PLAC-MG), foi idealizado o programa Rota da Descarbonização. Com o apoio técnico da WayCarbon, o desenvolvimento do Rota busca definir um *roadmap*, ou roteiro estratégico, a ser seguido para que os investimentos privados necessários para descarbonizar a economia mineira possam ser identificados e viabilizados. O *roadmap* se desdobra em quatro macrosetores – transporte, energia, indústria e AFOLU (agropecuária, florestas e uso do solo) – e suas etapas incluem a elaboração de diagnósticos setoriais e de cenários de descarbonização, o mapeamento e priorização das principais soluções tecnológicas, a identificação de necessidades e oportunidades de investimento e a construção de propostas de implementação ou revisão de políticas públicas.

O diagnóstico setorial de AFOLU, primeira etapa do *roadmap* para esse setor, será detalhado na próxima seção deste documento.

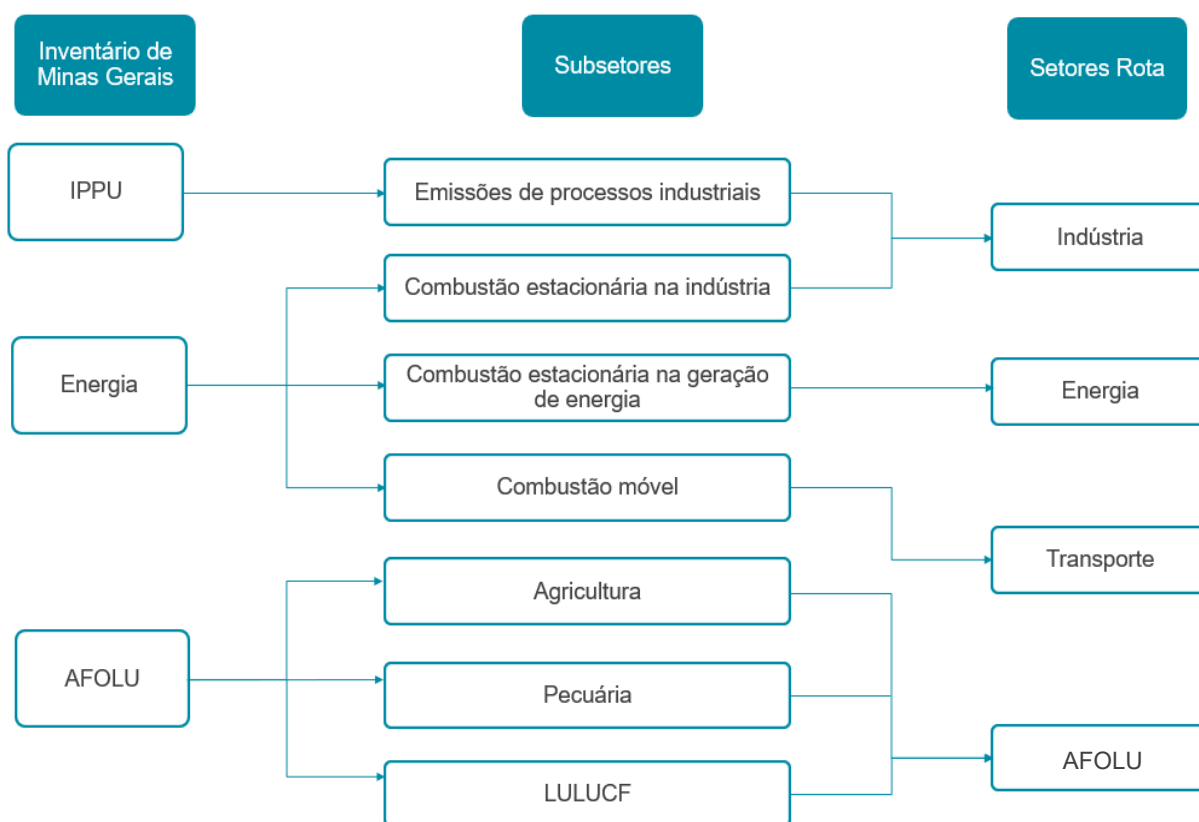
A evolução nas políticas climáticas do estado e os avanços nas ações de implementação, a exemplo do Rota e da ferramenta de MRV Climático, evidenciam o potencial de Minas Gerais de se consolidar como referência na agenda climática, algo particularmente relevante no contexto da COP 30, a ser realizada no Brasil, e para a competitividade de Minas Gerais em relação a outros estados brasileiros na atração de investimentos e geração de empregos verdes e de qualidade.



## DIAGNÓSTICO SETORIAL – AFOLU

Para a construção do *roadmap* do Rota, a avaliação das fontes de emissão associadas ao setor de AFOLU no estado de Minas Gerais teve como base a classificação por setores econômicos. De forma geral, o setor de AFOLU abarca as emissões relacionadas à LULUCF, agricultura e pecuária. Para os demais, a classificação adotada é: (i) setor de transporte endereça as emissões relacionadas à combustão móvel; (ii) setor de energia irá endereçar as emissões relacionadas à geração de energia elétrica, à produção de combustíveis e biocombustíveis e ao refino de petróleo; e (iii) setor de indústria inclui as fontes de emissão relacionadas aos processos industriais não provenientes de combustão (Setor IPPU) e emissões de combustão estacionária da indústria. A Figura 2 apresenta essa divisão.

Figura 2: Fontes de emissão e composição dos setores avaliados no projeto Rota



Fonte: Elaboração própria

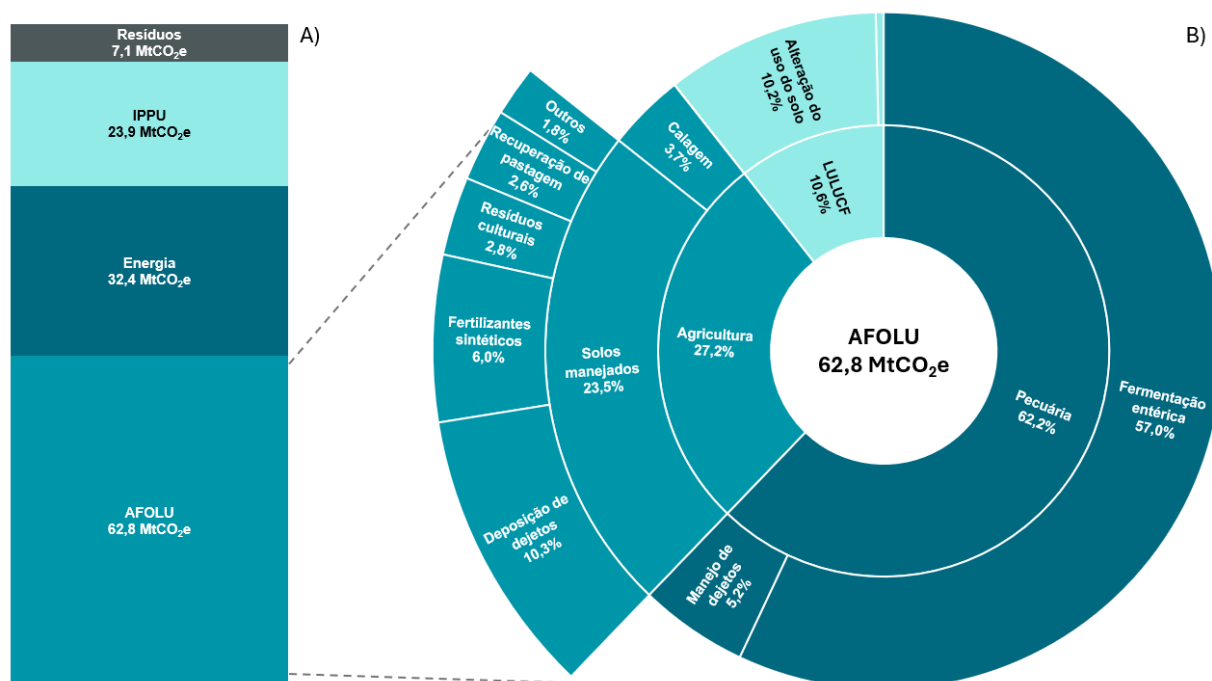


## Contextualização sobre as emissões do setor em Minas Gerais

O subsetor de agropecuária e o subsetor de uso da terra, mudança de uso da terra e florestas (LULUCF; do inglês *Land use, Land-Use Change, and Forestry*) representam, juntos, as emissões do grande setor AFOLU – Agropecuária, Florestas e Outros Usos da Terra (do inglês, *Agriculture, Forestry, and Other Land Use*). Esse setor é responsável por uma parcela de aproximadamente 15,6% das emissões globais causadas pela ação humana, correspondendo a 7,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (MtCO<sub>2</sub>e) em 2019 (CLIMATE WATCH, 2023; CRIPPA *et. al.*, 2023).

Em 2019, o Brasil ocupou o 7º lugar no ranking dos países mais emissores, sendo responsável por 3,8% das emissões globais. No setor AFOLU, o país se destaca, sendo responsável por 8,8% das emissões globais do subsetor de agropecuária e 22,2% das emissões do subsetor LULUCF (CLIMATE WATCH, 2023). No contexto nacional, a representatividade desses subsetores é ainda mais significativa, cerca de 50,8% (1.198 MtCO<sub>2</sub>e) das emissões em 2019 estavam relacionadas a LULUCF e 24,1% (563 MtCO<sub>2</sub>e) à agropecuária (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). Para Minas Gerais, observa-se, ao contrário, uma representatividade muito maior da agropecuária (44,5%) em comparação à LULUCF (5,3%). A Figura 3 desdobra as emissões do setor AFOLU em suas categorias mais específicas.

Figura 3: Emissões Líquidas setoriais de Minas Gerais (A; MtCO<sub>2</sub>e) e a representatividade (B; %) das categorias de emissão dentro do setor AFOLU



Fonte: Elaboração própria com base em Minas Gerais (2022)



No subsetor agricultura, as emissões que se destacam são (IPCC, 2019):

- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) associado a solos manejados, como uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos ou orgânicos, decomposição da matéria orgânica do solo, deposição de dejetos animais, entre outros;
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) associado à aplicação de calcário e ureia;
- Metano (CH<sub>4</sub>) associado ao cultivo de arroz inundado;
- CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O decorrentes do uso de solos orgânicos e de áreas permanentemente alagadas.

Já no subsetor pecuária, são encontradas as emissões do CH<sub>4</sub> produzido durante a fermentação entérica de ruminantes, sendo a de bovinos a mais significativa, bem como o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O emitidos durante o manejo de dejetos animais (IPCC, 2019).

Em relação ao subsetor LULUCF, tanto emissões quanto remoções de CO<sub>2</sub> estão relacionadas principalmente à mudança dos estoques de carbono nos diversos reservatórios terrestres<sup>3</sup>. Essa mudança ocorre na conversão de áreas de vegetação nativa para outros usos, na queima de vegetação nativa (espontâneas ou induzidas pelo homem), bem como nas alterações de estoque de carbono associadas a produtos madeireiros colhidos.

Importante destacar que as atividades monitoradas no subsetor agropecuário também influenciam as emissões e remoções no subsetor LULUCF. Práticas como o manejo agrícola do solo e de pastagens podem resultar em perdas ou ganhos de carbono orgânico do solo (SOC). E a conversão de áreas nativas para culturas anuais, perenes e pastagens, ou vice-versa (conversão dessas para vegetação nativa), impacta o carbono de todos os reservatórios. Portanto, é necessário avaliar de forma integrada o balanço entre emissões e remoções dos subsetores de agropecuária e LULUCF, consolidados no setor AFOLU. Essa abordagem permite considerar as atividades do agronegócio como fontes e sumidouros de GEE, ou seja, atividades capazes de produzir e de capturar e armazenar GEE.

## Agropecuária

Em 2023, a agropecuária representou 7,6% do Valor Adicionado de Minas Gerais (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2024),<sup>4</sup> sendo que o agronegócio como um todo representou

<sup>3</sup> Inclui a biomassa acima do solo – AGB, do inglês *above-ground biomass*; biomassa abaixo do solo – BGB, do inglês *below-ground biomass*; matéria orgânica morta – DOM, do inglês *dead organic matter*; e carbono orgânico do solo – SOC, do inglês *soil organic carbon*.

<sup>4</sup> A soma do Valor Adicionado de cada macrossetor (Agropecuária, Indústria e Serviços), acrescida dos Impostos sobre Produtos Líquidos de Subsídios, resulta no Produto Interno Bruto (PIB). Portanto, o valor de 7,6% corresponde à divisão do Valor Adicionado da agropecuária pela soma do valor adicionado dos três macrossetores.



cerca de 22,2% do PIB do estado no mesmo ano (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2024).<sup>5</sup> Vale destacar a importância que Minas Gerais tem na produção agropecuária nacional. Também em 2023, o estado foi responsável por 51% da produção nacional de café, 9,4% do rebanho bovino e 11,5% da produção silvícola. Quanto à produção agrícola, destaca-se, além do café, a participação mineira na produção de inúmeras commodities de relevância nacional, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Participação de Minas Gerais na produção nacional de commodities agrícolas

Cultura	Produção		
	Toneladas	Participação	Posição no ranking nacional
Café	1.735.408	51,0%	1º
Cana-de-açúcar	82.544.375	10,5%	2º
Feijão	578.804	20,0%	2º
Laranja	1.126.858	6,4%	2º
Milho	8.296.982	6,3%	5º
Soja	8.459.161	5,6%	6º

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE (2023)

Na pecuária, além da bovinocultura de corte e de leite, o estado contribuiu com o principal rebanho nacional de equinos (13,6%) e 12,6% do rebanho de suínos. Na silvicultura, Minas Gerais possui a maior área de floresta plantada do país, 2,1 milhões de hectares, o que corresponde a 22% da área plantada nacional, e assumiu liderança na produção de carvão vegetal, fornecendo 88,1% da produção nacional oriunda de eucaliptos (IBGE, 2023).

Como mencionado anteriormente, em 2019, a agropecuária brasileira foi responsável pela emissão de 562,9 MtCO<sub>2</sub>e, representando 24,1% das emissões brutas nacionais e se destacando como um dos setores mais impactantes no cenário de mudanças climáticas (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). Em Minas Gerais, onde a produção agropecuária tem relevância significativa, as emissões a ela associadas representaram 45% do total de emissões estaduais em 2019 (56 MtCO<sub>2</sub>e), sendo que 31% (39 MtCO<sub>2</sub>e) estavam relacionadas à pecuária e 14% (17 MtCO<sub>2</sub>e) à agricultura (MINAS GERAIS, 2022).

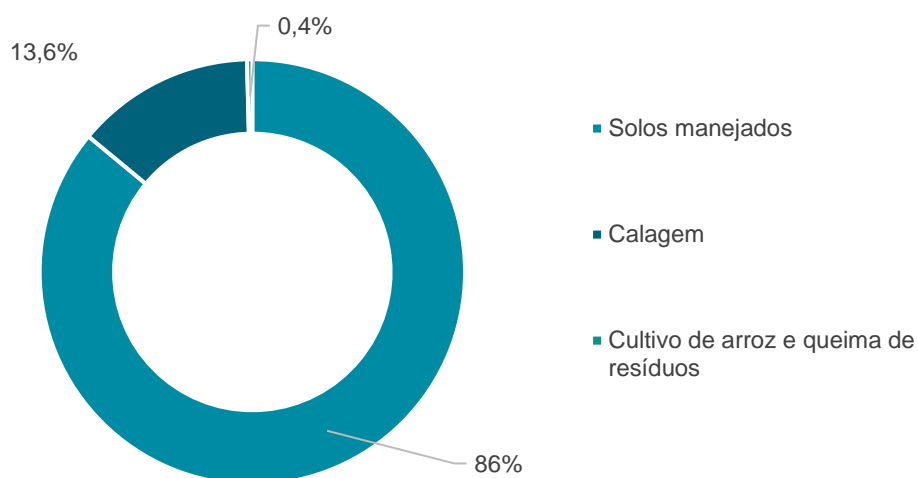
<sup>5</sup> O Agronegócio compreende, para além da agropecuária, uma série de atividades a ela relacionadas, incluindo o fornecimento de insumos agropecuários, a transformação industrial de produtos agropecuários e serviços de distribuição e comercialização. O valor de 22,2% corresponde à divisão da estimativa do PIB do agronegócio em 2023 pelo PIB estimado total do estado no mesmo ano.



## Agricultura

O subsetor agricultura respondeu por 4,5% (105,2 MtCO<sub>2</sub>e) das emissões nacionais em 2019. Em Minas Gerais, a categoria apresentou maior representatividade no mesmo período: cerca de 13,5% (17,1 MtCO<sub>2</sub>e) do total de emissões do estado. Entre as principais fontes de emissão da agricultura mineira estão os solos manejados (14,8 MtCO<sub>2</sub>e) e a calagem (2,3 MtCO<sub>2</sub>e), com 86% e 13,6% de participação, respectivamente. O cultivo de arroz inundado (3,7 tCO<sub>2</sub>e) e a queima de resíduos agrícolas (975 tCO<sub>2</sub>e) são categorias de emissão pouco representativas e compuseram menos de 1% das emissões do subsetor em Minas Gerais no ano de 2019, conforme ilustrado na Figura 4 (MINAS GERAIS, 2022).

Figura 4: Principais fontes de emissão da agricultura

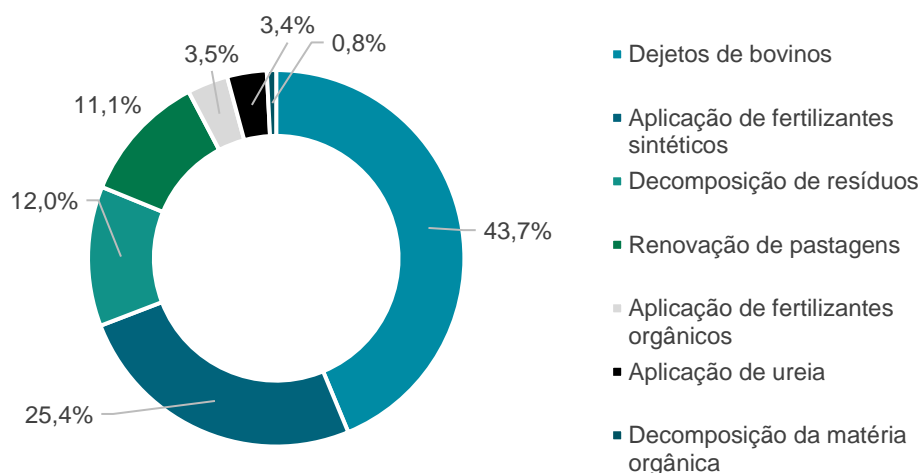


Fonte: Elaboração própria com base no inventário de Minas Gerais (2022)

Com relação às emissões em solos manejados no estado, grande parte advém dos dejetos de bovinos depositados diretamente em pastagens (43,7%), seguido da aplicação de fertilizantes sintéticos no cultivo agrícola (25,4%), da decomposição de resíduos culturais (12%), da renovação de pastagens (11,1%), da aplicação de fertilizantes orgânicos (3,5%), da aplicação de ureia (3,4%) e da decomposição da matéria orgânica de solos orgânicos (0,8%); (MINAS GERAIS, 2022), conforme a Figura 5.



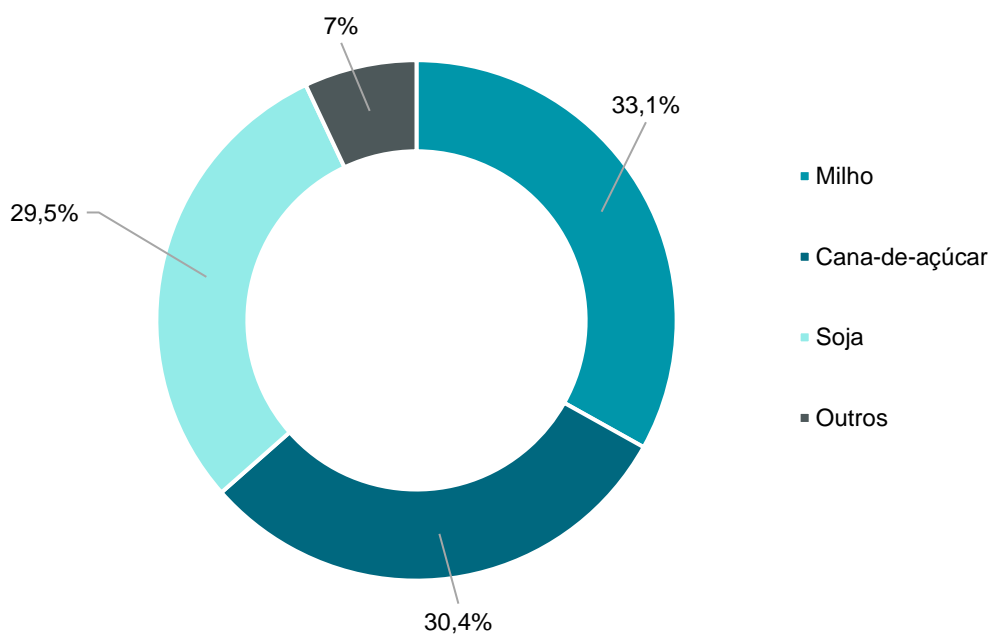
Figura 5: Emissões em solos manejados



Fonte: Elaboração própria com base no inventário de Minas Gerais (2022)

Entre as emissões relacionadas a resíduos culturais no estado, as culturas de milho, cana-de-açúcar e soja representam a maior parte das emissões, com 33,1%, 30,4% e 29,5% de participação, respectivamente, conforme Figura 6.

Figura 6: Emissões relacionadas a resíduos culturais



Fonte: Elaboração própria com base no inventário de Minas Gerais (2022)



## Pecuária

O estado de Minas Gerais se destaca na produção pecuária nacional, ocupando a terceira posição no *ranking* nacional de rebanho de bovinos em 2023, com cerca de 22,5 milhões de cabeças, o equivalente a 9,4% do total nacional. Ainda, o estado é o principal produtor leiteiro do país, respondendo por 26,6% da produção nacional (IBGE, 2023). Tal posicionamento reforça a expressividade da pecuária frente às emissões de GEE do estado. No subsetor pecuária, existem duas fontes de emissão:

- **Fermentação entérica em ruminantes:** processo natural da digestão em ruminantes como os bovinos, é a principal fonte de emissões no setor agropecuário tanto no Brasil quanto em Minas Gerais. Esse processo ocorre no rúmen, onde a decomposição de alimentos por microrganismos gera CH<sub>4</sub>, um potente GEE. Assim, entender e mitigar essa emissão é essencial para a construção de estratégias de descarbonização do setor. Nacionalmente, a fermentação entérica respondeu por 65,2% das emissões da agropecuária e 15,7% das emissões totais (366,8 MtCO<sub>2e</sub>) em 2019 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). Em Minas Gerais, a fermentação entérica permanece como a principal fonte de emissões da agropecuária (63,8%), com 35,8 MtCO<sub>2e</sub> emitidas em 2019, tendo como alavancas a criação de bovinos de corte e de leite, responsáveis por 77,4% e 20,6% das emissões desta categoria, respectivamente (MINAS GERAIS, 2022); e
- **Manejo de dejetos de animais confinados:** a criação animal em sistemas confinados leva ao acúmulo de dejetos por unidade de área, o que traz a necessidade de manejo. Devido à menor necessidade de área e à simplicidade no manejo, os sistemas anaeróbios (como lagoas e esterqueiras) são os de maior utilização na pecuária brasileira. Apesar da praticidade e baixo custo, esses sistemas possuem alta taxa de geração e emissão de CH<sub>4</sub>, representando, em 2019, 4,8% (26,9 MtCO<sub>2e</sub>) das emissões da agropecuária brasileira (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2022). Em Minas Gerais, o manejo de dejetos registrou uma participação similar à nacional, com cerca de 5,8% (3,3 MtCO<sub>2e</sub>) das emissões da agropecuária no mesmo período. Aproximadamente 98,2% dessas emissões se concentraram na criação de suínos (55,7%), bovinos de corte (26,3%) e de leite (11,0%) e aves (5,2%; MINAS GERAIS, 2022).

Vale ressaltar que a atividade pecuária propicia uma fonte adicional de emissão de GEE, mas que usualmente é contabilizada dentro do subsetor agricultura, que são os dejetos depositados no pasto. Tal alocação se justifica porque o resultado dessa deposição consiste na adição de nitrogênio ao solo, que culmina na emissão de N<sub>2</sub>O, tal como ocorre com fertilizantes nitrogenados. Dessa forma, para efeito de padronização e aderência à alocação já utilizada em inventários setoriais, como o brasileiro e o de Minas Gerais, que seguem a metodologia do IPCC, neste diagnóstico, o impacto dessa fonte de emissão também é considerado dentro do subsetor agricultura.

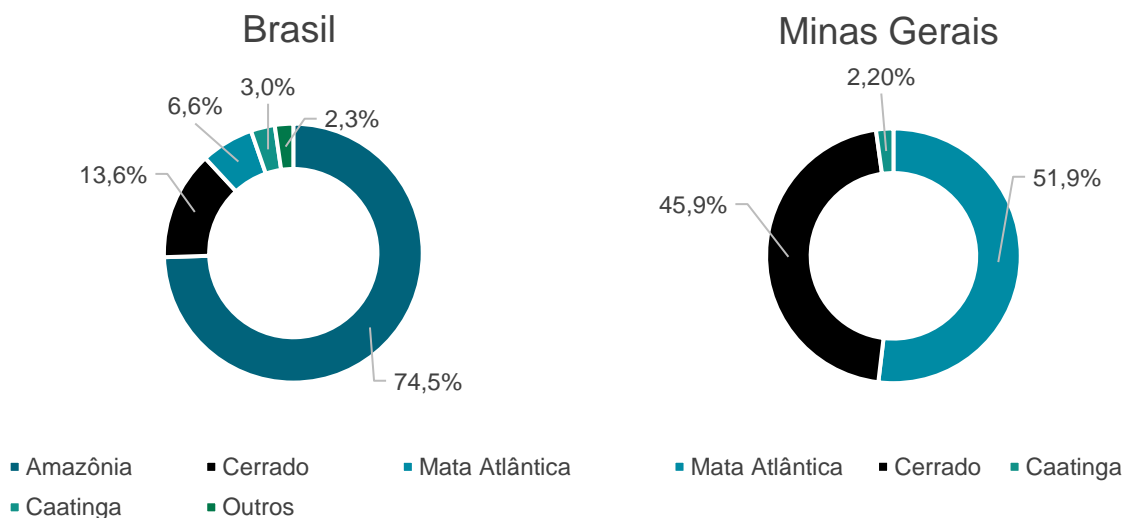


## Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas

Historicamente, o subsetor LULUCF representa a maior fonte de emissões de GEE no Brasil, predominantemente decorrentes do desmatamento (legal e ilegal). Isso porque grande parte do desmatamento está associado à expansão de fronteiras agrícolas, principalmente nos biomas Amazônia e Cerrado (IMAZON, 2013), os quais abrigam densas florestas, e, conseqüentemente, possuem maior intensidade de emissão de GEE por área de floresta convertida em outros usos.

Em Minas Gerais, esse subsetor acaba possuindo menor relevância, uma vez que existe baixa expansão da atividade humana sobre a vegetação nativa, reflexo do histórico de ocupação do estado, que data desde o período colonial. Enquanto o subsetor representou 50,8% das emissões nacionais em 2019 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024), em Minas Gerais compôs apenas 5,3% das emissões, equivalendo a 6,6 MtCO<sub>2</sub>e (MINAS GERAIS, 2022). De acordo com Observatório do Clima (2024), em 2019, do total das emissões nacionais do subsetor, 74,5% são provenientes da Amazônia, 13,6% do Cerrado, 6,6% da Mata Atlântica e 3% da Caatinga. Em Minas Gerais, as emissões se concentram em Mata Atlântica e Cerrado, com menor participação da Caatinga, vide Figura 7.

Figura 7: Emissões no setor de LULUCF no Brasil e Minas Gerais



Fonte: Elaboração própria com base no Observatório do Clima (2024)

Nacionalmente, a mudança de uso da terra é a principal categoria de emissões do subsetor LULUCF, com participação de 93,4% em 2019 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024). Em



Minas Gerais, a categoria tem similar expressividade, sendo responsável por 96,4% das emissões do subsetor em 2019. A queima de resíduos florestais é uma categoria menos expressiva, contribuindo com 53,9 MtCO<sub>2</sub>e das emissões nacionais (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024) e 0,24 MtCO<sub>2</sub>e das emissões estaduais em 2019 (MINAS GERAIS, 2022).

## Benchmarking das tecnologias previstas nos planos estaduais de descarbonização

O setor agropecuário é vital para economia nacional, visto que representou cerca de 44,2% do crescimento do PIB do Brasil em 2024 (CNA, 2024). No mesmo ano, em Minas Gerais, a atividade agropecuária registrou crescimento de 7,2% no Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) até setembro, liderado pela alta dos preços do café e da pecuária de corte no geral, evidenciando a importância desse setor para a economia estadual (FAEMG, 2024). Ademais, o estado ostenta uma produção diversificada, com destaque para o café, leite, carne bovina e floresta comercial.

Conforme já citado, a pecuária é a maior alavanca de emissões em Minas Gerais e deve ser o foco das ações de descarbonização. Nesse contexto, as estratégias de descarbonização para as atividades agrícolas e pecuárias estão cada vez mais focadas na integração dos componentes da paisagem, visando aumentar a produção ao mesmo tempo em que mitiga emissões, promove remoções e, ainda, protege os ecossistemas. A prioridade é utilizar eficientemente as áreas adequadas para a agropecuária, bem como promover a regularização ambiental e a recuperação e conservação da qualidade do solo, da água e da biodiversidade (MAPA, 2024).

Sendo assim, este diagnóstico buscou avaliar as melhores práticas relacionadas ao AFOLU de forma integrada, tal como previstas nos planos de descarbonização dos estados do Amazonas, Mato Grosso, Pernambuco, Espírito Santo, Pará<sup>6</sup>, São Paulo e Minas Gerais, além de outras tecnologias de *benchmarking* que possam fazer sentido para o contexto atual de Minas Gerais.

A adoção de práticas de agricultura e pecuária de baixo carbono é uma tendência global, com o uso de técnicas agrícolas que são sustentáveis no longo prazo e que auxiliam tanto na mitigação quanto na adaptação às mudanças climáticas. Isso porque o setor atua a céu aberto, sendo vulnerável aos efeitos dessas mudanças. A nível nacional, vale citar o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030), comumente nomeado de Plano

<sup>6</sup> Para o estado do Pará, foi utilizado o Plano Estadual Amazônia Agora (PEAA), dado que o plano de descarbonização do estado, intitulado “Descarboniza Pará”, ainda está em elaboração e contribuirá para o atingimento das metas estabelecidas no PEAA.



ABC+, que tem como meta a mitigação de mais de 1 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Já nos planos de descarbonização dos estados de São Paulo, Espírito Santo, Pernambuco, Mato Grosso e Minas Gerais, a redução das emissões de GEE do setor agropecuário é amplamente discutida, com propostas de adoção de sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) e do sistema de plantio direto (SPD). São Paulo apresenta também a disseminação da fixação biológica de nitrogênio (FBN) no cultivo de cana-de-açúcar, pastagens, milho e soja, esta última sendo a cultura em que a tecnologia é mais difundida mundialmente.

A regeneração de pastagens degradadas é a prática transversal citada nos planos de estados nos quais a pecuária tem participação significativa, sendo que apenas Minas Gerais discorre sobre outras práticas sustentáveis voltadas para essa atividade, como (i) aquelas associadas a ganhos em produtividade e redução do tempo ao abate, como melhoramento genético dos bovinos e melhorias na qualidade da dieta animal; e (ii) o uso de tecnologias mais adequadas para mitigação de GEE no tratamento dos resíduos da criação animal, a exemplo da valoração dos subprodutos oriundos desse tratamento, como produção de biogás e biometano.

Além das práticas citadas anteriormente, que estão diretamente relacionadas ao impacto das atividades do agronegócio, a proteção e a recuperação florestal são fortes tendências para a descarbonização, conforme abordado nos planos dos estados do Amazonas, Mato Grosso, Pernambuco, Espírito Santo, Pará, São Paulo e Minas Gerais. Nesse sentido, iniciativas priorizadas nesses planos envolvem a restauração de áreas degradadas, a conservação da vegetação nativa e das matas ciliares, o manejo florestal sustentável, a ampliação de áreas protegidas sob influência do estado, a redução do desmatamento e do risco de incêndio florestal, bem como iniciativas de reflorestamentos comerciais.

Vale ressaltar que, embora todos os estados considerem a redução do desmatamento ilegal, Pará, São Paulo, Pernambuco, Espírito Santo, Mato Grosso e Minas Gerais direcionam o foco de suas ações para a recuperação de áreas degradadas. Já o Amazonas concentra seus esforços na proteção de florestas nativas e no incremento do reflorestamento. Adicionalmente, o plano de Minas Gerais, assim como o do Mato Grosso, inclui incentivos econômicos com enfoque na regularização fundiária e na gestão sustentável do solo, enquanto Amazonas e Pará enfatizam a importância dos incentivos econômicos e da participação comunitária para a conservação florestal.

## O setor de AFOLU no PLAC e no PD de Minas Gerais

Minas Gerais tem implementado diversas iniciativas focadas na descarbonização do setor AFOLU como parte de suas metas de neutralidade climática. Os principais norteadores da estratégia de descarbonização de Minas Gerais são o seu Plano de Ação Climática (PLAC-MG), de 2023, e o Plano de Descarbonização para o Estado de Minas Gerais dentro de um Brasil clima neutro em 2050 (PD-MG), de 2022.



O PLAC-MG foi construído tomando como linhas de atuação a mitigação e adaptação, aliadas à inovação e aos princípios de justiça climática. O plano estabelece vinte e oito ações prioritárias para o estado, divididas em doze setores estratégicos. Para o setor AFOLU, são elencadas quatro ações principais, divididas em doze subações, com o objetivo de alcançar a neutralidade de carbono em 2050. Estas ações foram definidas a partir dos resultados obtidos no PD-MG, que avaliou seis soluções de descarbonização para esse setor em Minas Gerais. As ações e medidas propostas pelo PLAC e pelo PD são detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2: Ações propostas pelo PLAC-MG e PD-MG para a descarbonização do setor AFOLU até 2050

<b>Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais (PLAC-MG)</b>	<b>Ação 1:</b> Acabar com o desmatamento ilegal	<b>Subação 1:</b> Realizar ações de combate do desmatamento ilegal nos biomas caatinga, cerrado e mata atlântica no território estadual com foco em alcançar o desmatamento ilegal zero até 2028.
		<b>Subação 2:</b> Fortalecer e realizar aprimoramento tecnológico e operacional do monitoramento contínuo da cobertura vegetal realizado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF).
		<b>Subação 3:</b> Incentivar a regularização fundiária de Unidades de Conservação estaduais.
		<b>Subação 4:</b> Elaborar plano integrado socioambiental de desmatamento ilegal zero.
	<b>Ação 2:</b> Fortalecer e desenvolver soluções e incentivos para a recuperação de áreas degradadas, a restauração produtiva e a regularização ambiental de imóveis rurais, em atendimento à legislação vigente.	<b>Subação 1:</b> Promover a atualização das áreas prioritárias para a conservação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos em Minas Gerais.
		<b>Subação 2:</b> Fortalecer o desenvolvimento e implementação de soluções de recuperação produtiva em áreas incluídas no Programa de Regularização Ambiental - PRA.
		<b>Subação 3:</b> Realizar ações para promoção e ampliação da regularização ambiental de imóveis rurais, em atendimento à legislação vigente.
	<b>Ação 3:</b> Preservar, conservar e recuperar os ecossistemas naturais no território estadual.	<b>Subação 1:</b> Implementar o plano de ação para conservação e recuperação do bioma Mata Atlântica.
		<b>Subação 2:</b> Fortalecer o sistema de combate a incêndios florestais e das ações destinadas a prevenir e combater as queimadas sem controle e os incêndios florestais em unidades de conservação.
		<b>Subação 3:</b> Desenvolver, aprimorar ou implementar diretrizes, critérios e instrumentos para o desenvolvimento de estratégias visando ao incentivo à conservação da vegetação nativa e o estabelecimento de compensação pela supressão de vegetação nativa nos biomas Cerrado e Caatinga.
	<b>Ação 4:</b> Implementar o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA.	<b>Subação 1:</b> Implementar instrumentos necessários para fomentar arranjos de PSA, por meio da implementação e execução de um programa estadual integrado de Pagamento por Serviços Ambientais e do incentivo a formação de mercados privados de PSA no estado.



	<p><b>Subação 2:</b> Realizar campanhas de divulgação dos benefícios dos esquemas de PSA e de apoio técnico para ampliar a participação de provedores de serviços ambientais, em especial produtores rurais da agricultura familiar, bem como de municípios que desejam apoiar PSA em seus territórios.</p>
<p><b>Plano de Descarbonização para o Estado de Minas Gerais dentro de um Brasil clima neutro em 2050</b></p>	<p><b>Solução 1:</b> Aumento de produtividade.</p>
	<p><b>Solução 2:</b> Recuperação de pastagens degradadas.</p>
	<p><b>Solução 3:</b> Manejo de dejetos animais.</p>
	<p><b>Solução 4:</b> Sistemas integrados (com floresta plantada).</p>
	<p><b>Solução 5:</b> Restauração do Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga.</p>
	<p><b>Solução 6:</b> Redução do desmatamento.</p>

Fonte: Elaboração própria com base em Minas Gerais (2023) e COPPE-UFRJ/UFGM/USP (2022)

O PLAC apresenta projeções de emissões líquidas totais para o estado no cenário de referência e no cenário onde o estado zera suas emissões em relação aos níveis de 2020. Com as medidas de descarbonização do setor AFOLU propostas, projeta-se uma redução de 79,7% nas emissões líquidas do setor até 2050 em comparação com o ano-base 2020, com uma redução intermediária de 25,7% entre 2020 e 2030.

Já o PD de Minas Gerais projeta uma redução significativa das emissões do estado no setor AFOLU condicionada à promoção de iniciativas de redução de emissões de CH<sub>4</sub> na pecuária bovina, à incentivos para a agricultura de baixa emissão por meio do Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - ABC+<sub>2</sub>, além de estímulos à utilização de resíduos agropecuários para a produção de energia e/ou substituição de combustíveis fósseis. Entretanto, desde que o plano de descarbonização foi construído, outras tecnologias e oportunidades de descarbonização foram desenvolvidas ou estão sendo estudadas.

Dessa forma, a próxima seção traz o mapeamento das soluções para a redução de emissões do setor de AFOLU que serão avaliadas com maior profundidade nas etapas subsequentes da construção do *roadmap* desse setor dentro do Rota. Por fim, cabe destacar que nem o PLAC-MG, nem o PD-MG identificam fontes de financiamento ou incentivos fiscais que possam ser acionados para destravar oportunidades de investimento associadas à implementação de projetos de descarbonização. Esse tema é abordado pelos estados do Espírito Santo e São Paulo e é um dos pontos centrais do projeto Rota, que buscará identificar em seus *roadmaps* setoriais as necessidades e oportunidades de investimento e as fontes de financiamento disponíveis.



# Soluções e barreiras para redução de emissões no setor AFOLU

## Pecuária de baixa emissão de carbono

### Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

A adoção de boas práticas agropecuárias possibilita sistemas eficientes, diversificados e integrados, associados à conservação da vegetação nativa, à regeneração do solo e aos demais serviços ecossistêmicos. Para tanto, a ILPF se destaca como estratégia que combina atividades agrícolas, pecuárias e florestais na mesma área, por meio de cultivos consorciados, sucessivos ou rotacionados, visando criar sinergias entre os diferentes componentes do sistema agroflorestal.

Além de otimizar o uso da terra, a ILPF eleva os patamares de produtividade dentro de uma mesma área, melhora o aproveitamento de insumos, o que pode reduzir os custos de produção ao longo do tempo, bem como diversifica a produção e gera mais renda e emprego (EMBRAPA, 2023). São quatro os possíveis sistemas integrados, sendo eles uma combinação de duas atividades: (i) Lavoura-Pecuária ou agropastoril, (ii) Pecuária-Floresta ou silvipastoril, (iii) Lavoura-Floresta ou agriflorestal; ou até três atividades: (iv) ILPF ou agrosilvipastoril.

De forma geral, os sistemas integrados aumentam a produtividade e reduzem as emissões de GEE da propriedade, o que ocasiona melhorias na competitividade no mercado internacional, além de alinhar a produção agrícola ao Plano ABC+. Dada a importância dessa tecnologia para a descarbonização, o Plano ABC+ contém linhas de crédito específicas para essa prática com recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e do Banco do Brasil (BB; EMBRAPA, 2016). A ILPF desempenha um papel fundamental na recuperação de pastagens degradadas, pois reduz custos com manejo de fertilizantes e corretivos. Além disso, existem os benefícios relacionados à fertilidade do solo, em que a cultura anual normalmente aporta nutrientes, enquanto a pastagem aporta grande quantidade de matéria orgânica, o que traz melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo<sup>7</sup>.

Desde 2005, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) desenvolve projetos de pesquisa relacionados aos sistemas ILPF com diversos parceiros<sup>8</sup> e, de acordo com estimativas da Associação Rede ILPF, o estado ocupa a 5ª posição no país em relação

<sup>7</sup> A exemplo da retenção de água e aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), características essenciais para sistemas instalados em solos mais arenosos e de pouca precipitação.

<sup>8</sup> Incluindo a Embrapa Milho e Sorgo, a Emater-MG, instituições de ensino, a Votorantim e a ASIFLOR (com apoio financeiro da SEAPA), a Fapemig e o MDA/CNPq (EMBRAPA, 2019).



a área dedicada à ILPF, cerca de 1,59 milhões de hectares (REDE ILPF, 2025).. Grande parte dos sistemas ILPF em Minas Gerais utilizam milho ou sorgo direcionados à colheita de grãos e silagem e, como componente florestal, cultivos isolados de espécies arbóreas para produção madeireira, como cedro australiano e mogno africano. Em áreas acidentadas, nas quais é inviável a mecanização, como na região Zona da Mata Mineira, a implementação do sistema ILPF requer uma análise que considere as potencialidades de cada parte da propriedade, ou seja, o relevo dessas regiões influencia a maneira como a integração será realizada (EMBRAPA, 2019).

Apesar dos benefícios da ILPF, esses sistemas ocupavam em 2021 apenas cerca de 8,35% da área destinada à agropecuária no Brasil (REDE ILPF, 2025). A adoção ainda incipiente reflete o elevado investimento inicial necessário, a escassez de mão de obra qualificada e de assistência técnica, além de dificuldades relacionadas à questão cultural e de falta de informação (EMBRAPA, 2020; MCTI, 2017). Além disso, existe a dificuldade de venda do componente florestal, bem como elevados custos de manejo, colheita, taxas, cadastros etc.

## Intensificação da pecuária bovina

A pecuária de baixo carbono no Brasil envolve diversas práticas que visam reduzir as emissões de GEE, melhorar a eficiência produtiva e promover a sustentabilidade. A intensificação da pecuária bovina é uma estratégia essencial, que envolve práticas para reduzir o tempo e aumentar o peso da carcaça ao abate e para promover o controle fitossanitário, contribuindo diretamente na mitigação das emissões de GEE. Como efeito indireto, o aumento da produtividade por unidade de área ou de animal possibilita a redução da necessidade de expansão de terras..

Adicionalmente, a intensificação da pecuária pode atuar como sumidouro de carbono por meio de técnicas como a recuperação de pastagens e a ILPF (CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ, 2023). Dentre as práticas de manejo do rebanho, destacam-se o melhoramento genético, o manejo nutricional e a utilização de aditivos alimentares. No que se refere ao manejo da pastagem, é possível citar a recuperação de pastagem e o manejo rotacionado. Adicionalmente, outras práticas de manejo de rebanho podem contribuir para a mitigação das emissões de GEE. Dentre elas é possível citar melhoras na taxa de fecundidade (prenhez) do rebanho, redução da idade de desmame dos bezerros e ao primeiro parto das novilhas, bem como estratégias para minimizar a mortalidade dos animais.

## Melhoramento genético

O melhoramento genético busca aprimorar características dos animais, como a eficiência alimentar e a resistência a doenças. A seleção de animais geneticamente superiores para produção de carne e leite normalmente resulta em um aumento da produtividade por hectare, reduzindo a necessidade de desmatamento e a pressão sobre novas áreas de pastagem. No



caso do bovino de corte, o melhoramento também resulta na redução do tempo ao abate. Com menor tempo de vida e, conseqüentemente, de fermentação entérica, há uma redução na emissão por kg de animal vivo.. Um dos desafios do melhoramento genético é a alta complexidade e o custo envolvido, além da necessidade de acesso a tecnologias de ponta e à formação de rebanhos com base em genética avançada, o que pode ser um obstáculo para pequenos produtores (GENRO *et al.*, 2023).

Para superar esses desafios, é necessário fomentar a extensão rural para disseminação e acompanhamento da implementação das tecnologias, promover programas de melhoramento genético de fácil acesso, incentivar pesquisas sobre genótipos com maior aptidão ao desenvolvimento precoce de carcaça, maior resiliência climática e menor emissão de CH<sub>4</sub> ruminal, bem como facilitar o acesso à crédito e incentivos para o melhoramento genético.

### **Manejo nutricional e uso de aditivos**

Outro aspecto fundamental da pecuária de baixo carbono é o manejo nutricional, que tem como objetivo otimizar a alimentação dos animais, reduzindo a emissão de CH<sub>4</sub> durante a digestão e aumentando a eficiência de conversão alimentar. A introdução de dietas balanceadas, com maior proporção de nutrientes de fácil digestão, como energéticos e proteicos, reduz a produção de CH<sub>4</sub>. Além disso, o uso de aditivos alimentares que modificam a microbiota ruminal dos animais (por exemplo, inibidores de metano) tem mostrado grande potencial para reduzir as emissões (GENRO *et al.*, 2023).

Contudo, a adoção de uma dieta balanceada e o uso de aditivos enfrentam resistência devido ao custo e dificuldades de acesso. Para o uso de aditivos, ainda existe a falta de regulamentação adequada, além do desconhecimento dos produtores sobre a tecnologia, principalmente os de pequeno e médio porte. A superação desses obstáculos passa pela promoção de estudos científicos mais aprofundados sobre os efeitos desses aditivos, aliados a políticas públicas e linhas de crédito que incentivem a adoção dessa prática.

### **Recuperação de pastagens**

A recuperação de pastagens degradadas é uma prática essencial na pecuária de baixo carbono, uma vez que pastagens mal manejadas são grandes emissoras de GEE. A recuperação envolve técnicas como o plantio de espécies forrageiras mais resistentes, a correção do solo e o controle do pisoteio excessivo pelos animais. A recuperação contribui para o aumento da capacidade de remoção de carbono do solo, bem como para a melhora da qualidade das pastagens e, conseqüentemente, da produtividade do sistema. No entanto, um dos desafios é o elevado custo de implantação da recuperação de pastagens, além da falta de conhecimento técnico em muitas regiões. Nessa linha, a disseminação de tecnologias de baixo custo, o acesso ao financiamento para recuperação de pastagens e a implementação



de projetos na cadeia de valor que forneçam recursos e treinamento para os produtores podem ajudar a tornar essa prática mais acessível no país (GENRO *et al.*, 2023).

### Manejo rotacionado

O manejo rotacionado (ou em piquetes) também colabora com a redução das emissões e a melhoria da produtividade das pastagens. Essa técnica envolve a alternância de áreas de pastejo, permitindo que o solo e a vegetação se recuperem enquanto os animais se alimentam em outras áreas. Dessa forma, propicia a melhora da fertilidade do solo, evita o sobrepastejo e aumenta a eficiência do uso da pastagem, contribuindo para a redução da degradação e da emissão líquida de GEE<sup>9</sup>.

Um desafio importante é a adaptação dessa prática à realidade das propriedades rurais brasileiras, muitas das quais enfrentam limitações de espaço ou infraestrutura. A adoção de sistemas ILPF pode ser uma solução, otimizando o uso da terra e promovendo a diversificação financeira do sistema de produção (EMBRAPA, 2021).

Como ressaltando anteriormente, é importante que políticas públicas sejam instituídas, além de engajamento com o setor privado, visando ofertar apoio técnico e financeiro aos produtores para a adoção de práticas sustentáveis que promovam uma pecuária mais eficiente e de baixa emissão de GEE em Minas Gerais e no país como um todo (FGV, 2016).

### Manejo de dejetos da produção animal (MDPA)

O manejo de dejetos da produção animal (MDPA) é responsável pela segunda maior fonte de emissões da atividade pecuária, com emissão de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O. O manejo de tais resíduos corresponde à forma de coleta, armazenamento, tipo de tratamento e possíveis formas de uso pelo próprio setor. O MDPA é uma prática relevante para a gestão sustentável da pecuária, visando minimizar as emissões de GEE, além de outros impactos ambientais e sanitários associados à produção animal.

Para tanto, é preciso adotar técnicas para manejo e tratamento adequado aos dejetos, como a compostagem e a biodigestão, em substituição às práticas comuns no país, como lagoa anaeróbica e esterqueira. Esse tipo de prática sustentável possibilita a transformação desses resíduos em produtos úteis, como fertilizantes orgânicos e biocombustível (biogás), que podem ser utilizados dentro e fora da cadeia produtiva agropecuária (EMBRAPA, sd.).

---

<sup>9</sup> A redução da emissão líquida de GEE se dá tanto pela manutenção do aporte de carbono via biomassa de raízes quanto pela redução do CH<sub>4</sub> entérico via oferta de pastagens de maior digestibilidade e melhor conteúdo nutricional.



## Compostagem

A compostagem visa a conversão de resíduos orgânicos em um composto rico em matéria orgânica e nutrientes a partir do controle da mistura entre os dejetos e fontes de carbono, como, por exemplo, maravalha, restos de poda e palha. Esse composto pode ser utilizado como insumo na agricultura e, adicionalmente à redução das emissões de GEE, traz como benefício a redução do volume de resíduos e da emissão de odores e patógenos. A comercialização de compostos orgânicos oriundos do tratamento de dejetos animais já é permitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)<sup>10</sup>.

Dessa forma, a utilização da compostagem no manejo de dejetos animais, além de minimizar os potenciais passivos ambientais que os dejetos possam gerar, ainda pode trazer renda extra para propriedade com a comercialização deste novo produto (o composto). Essa prática vai ao encontro dos objetivos estratégicos e metas do Plano Nacional de Fertilizantes (MAPA, 2022a), como o de aumentar a produção e oferta de fertilizantes orgânicos e organominerais em, pelo menos, cinco vezes até 2050, bem como o de reaproveitar os resíduos sólidos e subprodutos com potencial de uso agrícola para a produção de fertilizantes e insumos agrícolas em, pelo menos, 70% até 2050.

## Biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é uma tecnologia que possibilita a produção de biogás a partir dos dejetos e da decomposição da matéria orgânica por microrganismos presentes nos resíduos. Com esse tipo de tratamento, aumenta-se o valor dos resíduos, dado que o biogás é uma fonte de energia renovável, podendo ser purificado para produzir biometano, um substituto direto do gás natural. Além disso, é produzido o digestato, que pode ser utilizado como biofertilizante por possuir teores significativos dos nutrientes agrícolas essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio (NPK; OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2022).

A adoção e expansão do tratamento de dejetos animais, com o aproveitamento do biogás e compostos oriundos do processo, são incentivadas no Plano ABC+ (MAPA, 2024). A produção de biogás a partir de resíduos agropecuários será tratada com mais detalhes na seção de iniciativas transversais. De acordo com o Observatório do Clima (2023), apesar dos benefícios destacados, a adoção do tratamento adequado de dejetos animais enfrenta desafios que incluem:

- Dificuldade de engajamento e de comunicação dos benefícios aos produtores;

---

<sup>10</sup> Vide Instrução Normativa n.61, de 08 de julho de 2020, que “Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura” (BRASIL, 2020).



- Capacidade limitada do poder público, em especial a nível municipal, para disseminação e assistência técnica;
- Complexidade e custos iniciais das tecnologias;
- Falta de conhecimento sobre oportunidades de financiamento;
- Necessidade de manutenção contínua dos sistemas de MDPA.

Esses fatores destacam a importância de uma abordagem integrada entre governos, produtores e agentes técnicos para promover uma adoção eficaz do MDPA.

## Agricultura de baixa emissão de carbono

### Sistema de plantio direto (SPD)

As boas práticas agrícolas também contribuem para a descarbonização da agropecuária e para a eficiência produtiva. O SPD consiste em uma forma de cultivo que compreende a mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura, a manutenção permanente da cobertura do solo por meio da palhada, a diversificação de espécies com rotações de culturas e a minimização ou supressão do intervalo de tempo entre a colheita de uma safra e a semeadura da seguinte (DE LIMA *et. al.*, 2022). Esse sistema minimiza a mobilização do solo e traz maior aporte de matéria orgânica via resíduos culturais, ou seja, reduz degradação da matéria orgânica e incrementa o aporte de carbono ao solo.

Por outra perspectiva, quando a diversificação de culturas é negligenciada, o SPD compromete a produção e o incremento de matéria orgânica no sistema e, por conseguinte, atrapalha o êxito da prática. Embora o SPD seja adotado no Brasil desde 1970, ainda há necessidade de assistência técnica e capacitação para sua utilização de modo adequado, evitando erosão e compactação do solo (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

A adoção do SPD envolve o enfrentamento de desafios relacionados à qualificação dos agentes públicos municipais e dos produtores sobre as melhores práticas para cada região, de forma a mitigar a degradação do solo e o manejo inadequado dos resíduos culturais. Para isso, é importante investir na prestação de serviços de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), promovendo iniciativas de capacitação em práticas e tecnologias de SPD.

Além disso, a ATER pode também disseminar conhecimento sobre linhas de crédito dedicadas aos produtores que hoje tem um conhecimento limitado sobre o tema. Na escala municipal, é necessário, também, abordar a falta de dados estatísticos para aprimorar a avaliação e gestão por parte do poder público, bem como a dificuldade de utilizar práticas mais custosas na agricultura familiar (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).



## Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

A FBN<sup>11</sup> tem papel relevante na redução da emissão de GEE relacionados à fabricação e ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Diferentemente do uso dos fertilizantes nitrogenados, a FBN não deixa o nitrogênio disponível no solo, de modo que as emissões diretas de N<sub>2</sub>O do solo não são observadas. Essa tecnologia mitiga as emissões de GEE, pois permite reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados no campo.

Um benefício adicional associado à redução do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos no Brasil é a diminuição da dependência da importação desse produto, que expõe produtores à variação cambial e às flutuações de mercado, fortalecendo a competitividade do produtor nacional. Além disso, o uso de FBN impacta toda a cadeia de valor da produção, uma vez que mitiga as emissões de GEE da produção de fertilizantes nitrogenados, obtidos a partir de matérias-primas fósseis e com alto gasto energético. Ainda, a adoção de FBN pode diminuir os custos de produção, o que é particularmente importante considerando que, nos últimos 20 anos, os custos dos fertilizantes na produção alcançaram mais de 40% em culturas como soja, milho e algodão (MAPA, 2022b).

Tal como a adoção do SPD, ampliar o uso de FBN também enfrenta desafios:

- Baixa qualificação dos agentes públicos municipais e dos produtores rurais sobre o uso e a diversidade de benefícios da FBN;
- Falta de conhecimento por grande parte dos produtores a respeito das linhas de crédito disponíveis para financiar essa atividade;
- Dados estatísticos para o monitoramento da adoção da FBN no nível municipal.

Ademais, a FBN possui entraves tecnológicos relacionados ao desenvolvimento e à adaptação de inoculantes que atendam às demandas intrínsecas a cada produtor, como etapas de identificação do microrganismo apto, biossegurança, bioprocessos, controle de qualidade, veículo de inoculação e eficiência agrônômica (AEN, 2023).

Nesse sentido, algumas iniciativas capazes de reduzir as barreiras ao uso de FBN no país incluem:

- Transferência de tecnologia, garantindo o acesso para pequenos agricultores e agricultores familiares;
- Qualificação de técnicos e produtores, com o apoio das ATERs, para o uso de inoculantes;

---

<sup>11</sup> A FBN é uma técnica que utiliza a associação natural entre plantas e bactérias diazotróficas por meio da inoculação e co-inoculação. Essas bactérias fixam o nitrogênio do ar e o transformam em amônia (NH<sub>3</sub>), uma forma de nitrogênio assimilável pela planta (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023).



- Fomento ao desenvolvimento de novos inoculantes por meio de instituições públicas de pesquisa e inovação, como os institutos agropecuários estaduais e a Embrapa.

## Adubação verde

A adubação verde se destaca entre as boas práticas agrícolas sustentáveis, pois envolve o cultivo de plantas específicas, como leguminosas e gramíneas, que enriquecem o solo de nutrientes e matéria orgânica utilizando recurso natural. Essa técnica promove a reciclagem de nutrientes e reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos, beneficiando a fertilidade do solo e a sustentabilidade da produção. A técnica também contribui para a resiliência climática, auxiliando no sequestro de carbono e na fixação biológica de nitrogênio, que diminui a dependência de nitrogênio sintético. Além de melhorar a fertilidade do solo, a adubação verde é uma prática eficaz para diversificar sistemas agrícolas (NUNES *et al.*, 2011).

No entanto, a adoção da adubação verde enfrenta desafios no Brasil. Apesar da prática contribuir para redução dos custos de produção no médio a longo prazo, o tempo de retorno do investimento pode desestimular produtores. Essa prática também exige planejamento e conhecimento técnico, incluindo a seleção de espécies adequadas e o momento correto para o manejo das culturas de cobertura, tal como em SPD. A fim de superar essas dificuldades, com o avanço de tecnologias e programas de assistência técnica, a adubação verde pode se tornar uma alternativa cada vez mais difundida entre agricultores que buscam práticas mais sustentáveis (IBF, 2024).

## Manejo adequado de fertilizantes nitrogenados

A utilização de fertilizantes sintéticos nitrogenados, bem como dos orgânicos e organominerais, visa proporcionar a demanda de nitrogênio necessária para o crescimento das culturas vegetais. O uso indiscriminado desses compostos pode aumentar as emissões de N<sub>2</sub>O, importante GEE. Segundo Robertson e Grace (2004), para cada quilo de nitrogênio aplicado na agricultura, aproximadamente 4,5 kgCO<sub>2</sub>e são emitidos, considerando os processos de produção, transporte e aplicação destes fertilizantes.

Dado o potencial emissor do nitrogênio, recomenda-se a aplicação do princípio das 4 certezas (fonte certa, taxa certa, hora certa e lugar certo), guiando as várias práticas de gestão nas atividades agrícolas para reduzir as perdas de nutrientes e a pegada de carbono, bem como aumentar a retenção de nitrogênio no solo (FIXEN, 2020).

O manejo e a aplicação adequada de fertilizantes nitrogenados representam boas práticas agrícolas capazes de contribuir significativamente para a descarbonização do setor agropecuário. Reduzir as emissões causadas pelo uso de fertilizantes nitrogenados exige uma abordagem integrada, que combine inovação (como agricultura de precisão e fertilizantes



mais eficientes) e tecnologia (por exemplo, adubação verde, SPD, ILPF e FBN). Os próximos tópicos se dedicam às inovações ligadas à redução do uso de fertilizantes nitrogenados.

### Fertilizantes de eficiência aumentada (FEA)

O desenvolvimento e uso adequado de FEA são opções interessantes para reduzir as perdas de nitrogênio e, conseqüentemente, o impacto que essas perdas geram em emissões de GEE. Dentre as tecnologias de FEA disponíveis, vale citar os fertilizantes estabilizados, que possuem aditivos para inibir um determinado estágio da transformação de nitrogênio no solo, como inibidores de urease ou nitrificação<sup>12</sup> (DE ALMEIDA, 2016).

Devido à larga utilização de ureia no Brasil, os inibidores de urease já são amplamente utilizados, enquanto os inibidores de nitrificação ou sua combinação ainda não têm impacto no mercado nacional. O uso de aditivos inibidores de urease está crescendo e a estimativa é que 10 a 15% da ureia no Brasil seja comercializada com esse aditivo. A cana-de-açúcar, o café e o milho são as principais culturas que utilizariam fertilizantes estabilizados (SARKIS *et al.*, 2023).

O uso em larga escala de fertilizantes estabilizados com inibidores de urease ou de nitrificação enfrenta vários desafios no Brasil. Primeiramente, os custos desses fertilizantes são significativamente mais elevados do que os dos fertilizantes convencionais, o que desestimula sua adoção, especialmente entre pequenos e médios produtores, que, frequentemente, operam com margens de lucro limitadas. Além disso, essa tecnologia enfrenta barreiras:

- Técnicas, que estão associadas ao conhecimento e ao manejo adequado desses insumos<sup>13</sup>;
- Culturais, visto que muitos produtores estão habituados aos fertilizantes tradicionais e podem resistir à adoção de tecnologias que demandam mudanças de práticas agrícolas estabelecidas;
- Disponibilidade limitada desses produtos em algumas regiões, o que dificulta o acesso para muitos produtores;
- Falta de políticas públicas de incentivo e programas de capacitação para promover e facilitar a adoção de fertilizantes estabilizados.

Para superar os desafios da adoção em larga escala de fertilizantes estabilizados, diversas soluções podem ser implementadas (SARKIS *et al.*, 2023):

<sup>12</sup> Por exemplo, N-(n-butil) tiofosfórico triamida – NBPT e 3,4-dimetilpirazol fosfato – DMPP, respectivamente.

<sup>13</sup> O uso eficiente de inibidores requer entendimento sobre dosagem, época e método de aplicação específicos para cada tipo de solo e cultivo (SARKIS *et al.*, 2023). Informações que nem sempre estão disponíveis ou disseminadas entre os agricultores.



- Redução dos custos desses fertilizantes por meio de incentivos fiscais ou subsídios governamentais, o que tornaria o insumo mais acessível;
- Incentivo à capacitação técnica para garantir o uso eficiente dos fertilizantes estabilizados, com a implementação de programas de treinamento que demonstrem aos agricultores suas vantagens, formas corretas de aplicação e as condições ideais de uso para maximizar os benefícios;
- Investimento em campanhas de conscientização que mostrem os benefícios econômicos e ambientais da adoção dessas tecnologias, incluindo a redução das perdas de nitrogênio e o aumento da eficiência na utilização de fertilizantes;
- Incentivo à pesquisa e desenvolvimento, testando condições específicas dos diferentes biomas brasileiros, a fim de tornar essa tecnologia mais viável e eficiente no contexto nacional.

### Amônia de baixo carbono

Além das práticas já descritas, vale destacar que a utilização de amônia verde ou de baixo carbono como fertilizante é uma tecnologia emergente para a descarbonização da produção de insumos agrícolas. A amônia verde é produzida a partir hidrogênio de baixo carbono, logo, reduz a utilização de combustíveis fósseis e aumenta a independência e segurança energética na produção de fertilizantes. Em Uberaba, Minas Gerais, uma planta de produção de fertilizantes nitrogenados a partir do hidrogênio de baixo carbono está em processo de instalação. O investimento estimado no projeto é de cerca de R\$4,5 bilhões e espera-se que a capacidade produtiva da planta atinja o patamar de 500 mil toneladas de fertilizantes por ano a partir de 2028 (GLOBO RURAL, 2024a).

Ressalta-se, ainda, que a utilização de hidrogênio de baixo carbono para a descarbonização da agricultura em Minas Gerais está presente na Política Estadual do Hidrogênio de Baixo Carbono e do Hidrogênio Verde, disposta na Lei nº 24.940/2014 (ALMG, 2024; MINAS GERAIS, 2024). Embora reduza o impacto ambiental, a eficiência da amônia verde como fertilizante é a mesma da amônia convencional. Nesse sentido, assim como os demais fertilizantes sintéticos, é essencial garantir boas práticas de manejo e aplicação da amônia verde no solo (MACHADO, 2024).

### Manejo adequado de corretivos

A otimização no uso do calcário também é uma boa prática agrícola que leva à redução de emissões de GEE da atividade agrícola. A calagem consiste na adição de calcário dolomítico ou calcítico no solo para a correção da sua acidez e aumento na concentração de cálcio e magnésio antes do cultivo. Todavia, a calagem gera emissão de CO<sub>2</sub> devido à solubilização e dissociação dos carbonatos presentes no calcário, insumo proveniente de rocha sedimentar, e, portanto, de origem fóssil. Logo, a descarbonização requer a implementação de medidas



que minimizem as emissões associadas à sua aplicação (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023).

Assim como no caso dos demais insumos agrícolas, a aplicação da calagem requer o emprego de métodos de agricultura de precisão, serviços de ATER e engajamento com os produtores no tocante aos benefícios econômicos e ambientais do uso otimizado da calagem, de acordo com as necessidades específicas locais. Um dos principais desafios para sua implementação é o alto custo associado ao mapeamento do solo, em razão da coleta, análise e interpretação de sua fertilidade a nível de propriedade, além do investimento em máquinas como os distribuidores em taxa variável (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023).

O calcário, por ter um custo inferior ao dos fertilizantes e ser aplicado em intervalos longos (por exemplo, cinco anos), costuma ter seu impacto ambiental e financeiro subestimado pelos produtores. Nessa perspectiva, vale destacar o Programa Municipal de Incentivo à Análise de Solo da Prefeitura de Entre Rios de Minas-MG, que disponibiliza treinamento e empréstimo de equipamento para coleta de solo, interpretação das análises, recomendação técnica de calagem e adubação, entre outros serviços para garantir eficiência e produtividade agrícola no município (PREFEITURA MUNICIPAL DE ENTRE RIOS DE MINAS, 2021).

## Uso agrícola de biocarvão

O biocarvão (do inglês *biochar*) é um tipo de carvão vegetal obtido por meio da pirólise de biomassa na ausência de oxigênio, como resíduos agrícolas, madeira e esterco, com elevada concentração de carbono estável e resistente à decomposição biológica. O uso de biocarvão representa uma solução eficiente e promissora para reduzir as emissões de GEE no estado, além de proporcionar benefícios adicionais para a fertilidade do solo e a sustentabilidade das atividades agrícolas. Além disso, o biocarvão é uma tecnologia capaz de promover a remoção de carbono e se destaca por ser uma solução baseada na natureza (NbS, na sigla em inglês).

Ao ser incorporado ao solo, o carbono estável do biocarvão é pouco degradado pelos microrganismos, ficando retido por longos períodos, promovendo a remoção de carbono (GRUTZMACHER *et al.*, 2018; ANDRADE; PUGA, 2023). Com relação à fertilidade, o biocarvão aumenta a capacidade de troca catiônica do solo e é eficiente na retenção de água e nutrientes, atuando como um condicionador de solo capaz de gerar ganhos de produtividade e redução no uso de fertilizantes (ANDRADE; PUGA, 2023). Além disso, estudos demonstram que, quando utilizado junto aos fertilizantes nitrogenados, o biocarvão contribui para a redução das emissões de N<sub>2</sub>O (PUGA *et al.*, 2020).

Em Minas Gerais, onde a agropecuária tem papel fundamental na economia, o uso de biocarvão representa uma solução sustentável para minimizar o impacto ambiental da produção, beneficiando tanto pequenos quanto grandes produtores.



Dentre as possíveis barreiras identificadas para o uso de biocarvão, destacam-se:

- Desafios logísticos relacionados à produção e aplicação no campo;
- Disponibilidade de biomassa e distância ao reator pirolítico;
- Necessidade de dados científicos robustos comprovando os resultados esperados a partir de diversas condições de pirólise e de biomassa;
- Ausência de indicações de dose, forma e época de aplicação correta;
- Alto custo de produção;
- Necessidade de implementação de incentivos e aumento de segurança jurídica.

Apesar de, em escala global, o uso do biocarvão gerar créditos de carbono devido à estabilização, no longo prazo, do carbono biogênico, da biomassa, pelo processo de pirólise, o Brasil não conta com nenhuma legislação ou política que considere seu uso de maneira ampla. Inclusive, dentro dos produtos já previstos em normativas do MAPA, o biocarvão não possui regra específica para sua classificação e uso, podendo ser enquadrado como condicionador do solo, fertilizante orgânico ou organomineral, a depender da sua formulação (ANDRADE; PUGA, 2023).

Para a implementação do uso do biocarvão de forma ampla em Minas Gerais, destacam-se alguns condicionantes:

- Incentivo a sua produção e adoção por meio de políticas públicas, incluindo programas de crédito e subsídios;
- Investimento em capacitação técnica;
- Fomento à pesquisa, tanto em relação à produção do biocarvão quanto à mensuração dos impactos por ele gerados no campo a depender de seu tipo.

Vale destacar que Minas Gerais é pioneiro na produção nacional de biocarvão, contando com a primeira unidade produtiva brasileira, localizada no município de Lajinha e resultante de uma parceria da empresa franco-brasileira *NetZero* com a *Coocafé* (NETZERO, 2024). O biocarvão é produzido nessa unidade a partir de cascas de café. Obras de uma nova unidade da empresa no município de Machado estão em andamento, com previsão de término em 2025. A nova unidade fornecerá 4 mil toneladas adicionais de biocarvão por ano (GLOBO RURAL, 2024b).

## Áreas nativas e florestas

### Redução do desmatamento e incremento das áreas protegidas

O desmatamento possui múltiplas causas diretas e indiretas que abrangem desde a expansão de áreas para atividades comerciais até o desenvolvimento de infraestrutura urbana e a ocupação irregular das terras (CURTIS *et. al*, 2018). Devido à natureza multicausal das



barreiras para a redução do desmatamento, as soluções são complexas e envolvem um conjunto amplo de ações. Apesar da menor representatividade entre as emissões do setor AFOLU em Minas Gerais (10,2%) quando comparado ao resultado nacional, o desmatamento ainda representa a principal fonte de emissões de LULUCF, sendo a expansão das áreas destinadas ao uso agropecuário a maior fonte da supressão da vegetação primária no estado (MINAS GERAIS, 2022).

Para cumprir com a meta de eliminação do desmatamento ilegal até 2028, é necessário abordar os principais entraves que dificultam a gestão e a proteção eficazes da vegetação nativa. As barreiras são de origem regulatória-institucional, econômico-financeira, científico-tecnológica e socioculturais (COPPE/UFRJ, 2023; MCTIC, 2017). Logo, as soluções possíveis também se encaixam em diferentes eixos de ação e incluem, por exemplo:

- Investimento em ações de prevenção e combate ao desmatamento, incluindo ações de comando e controle e fiscalização robusta das áreas de risco, que podem ser identificadas através de sistemas de sensoriamento remoto que monitoram ocorrência de desmatamento não autorizado, como o Selo Verde/MG. Além disso, é essencial que os órgãos responsáveis possuam capacidade técnica e financeira para implementar medidas corretivas;
- Criação e manutenção de áreas protegidas, como Unidades de Conservação Estaduais e Terras Indígenas. Essas áreas reforçam a proteção contra o desmatamento e não apenas preservam a biodiversidade, como também desempenham um papel crucial na redução da pressão sobre florestas nativas em terras privadas e devolutas (MCTI, 2017);
- Ações integradas de regularização fundiária e ambiental em imóveis rurais, incluindo estratégias para o combate à ocupação desordenada, regularização via instrumentos normativos dos proprietários com infrações ambientais e a implantação de políticas de ordenamento territorial. Um dos principais instrumentos para essa solução é a existência de um Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) operando efetivamente, permitindo a identificação dos detentores de terra regulares e irregulares (AMAZÔNIA 2030, 2022);
- Criação de mecanismos para compensação aos serviços ambientais e incentivo à produção sustentável, promovendo tanto a melhoria nos processos produtivos agropecuários atuais quanto a valorização da bioeconomia e das cadeias produtivas a partir do uso alternativo da floresta. Um complemento importante é o fomento ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e de mercado para produtos da bioeconomia, promovendo parcerias entre o setor privado e as comunidades locais;
- Fortalecimento de políticas de conservação e fomento de uma estrutura jurisdicional para a redução das emissões provenientes de desmatamento e degradação, visando o aumento dos estoques de carbono florestal e o manejo sustentável das florestas (REDD+) – medidas que podem contribuir para a redução do desmatamento por meio de mecanismos de incentivo baseados em resultado.



## Restauração de áreas nativas e degradadas

As medidas de restauração florestal contribuem para a descarbonização do setor por meio de dois eixos principais: (i) ao recuperar áreas degradadas de pastagem, limitando a necessidade da supressão de vegetação nativa para abertura de novas áreas para práticas de pecuária; e (ii) ao recuperar áreas de floresta nativa, pelo seu potencial de mitigação climática, decorrente do estímulo a processos de remoção de carbono (BARROS *et. al*, 2023; GRISCOM *et. al*, 2017). No entanto, a restauração dessas áreas enfrenta diversos desafios econômicos, político-institucionais e científico-tecnológicos que dificultam sua implementação em larga escala (COPPE/UFRJ, 2023).

Os desafios econômicos e científicos relacionados à restauração florestal são substanciais e interligados. Do ponto de vista econômico, a ausência de incentivos específicos para a regularização ambiental por meio da restauração dificulta a adesão de proprietários e empresas. Além disso, os altos custos de implementação, especialmente em áreas de baixo potencial de regeneração natural, e a indisponibilidade de sementes e mudas adequadas dificultam a viabilidade financeira. Já na dimensão científica, identifica-se a dificuldade de implantação de um sistema de monitoramento adequado e preciso para acompanhar a eficácia das ações de restauração (MCTI, 2017).

No âmbito político-institucional, a ausência de regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA) retarda o avanço das iniciativas. E a assistência técnica rural insuficiente também limita o suporte aos produtores que buscam regularizar suas áreas. No mais, inclui-se nessa lista também a falta de informação sobre os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas florestas, o desconhecimento sobre técnicas de restauração e o número limitado de equipes técnicas especializadas para o apoio das atividades de campo e para a adoção de novas tecnologias (MCTI, 2017).

Para superar essas barreiras, uma série de instrumentos de política pública podem ser mobilizados a partir do desenvolvimento e implementação de soluções de recuperação produtiva em áreas incluídas no Programa de Regularização Ambiental – PRA. Essas soluções têm como foco principal:

- Identificar e qualificar as áreas prioritárias para restauração;
- Conscientizar e oferecer capacitação sobre melhores técnicas;
- Disponibilizar linhas de crédito;
- Direcionar recursos para a implementação da análise do CAR e do PRA no estado e ampliar os recursos necessários para o funcionamento de viveiros de produção de sementes e mudas (MINAS GERAIS, 2023);



- Vincular a restauração de Reservas Legais (RLs) e Áreas de Proteção Permanente (APPs) a benefícios comerciais e tributários atrativos, considerando-se os custos e outras limitações ao cumprimento do PRA.

Com relação ao último item, existe no Brasil um mercado negociável para títulos legais das áreas de vegetação nativa intacta e das áreas em regeneração que excedem os requisitos do Código Florestal. O excedente de terras em uma propriedade pode ser usado para compensar uma dívida de RL em outra propriedade dentro do mesmo bioma e, de preferência, no mesmo estado. Dado o elevado custo e a complexidade procedimental da restauração florestal, o sistema de trocas poderia tornar-se uma forma eficaz e menos custosa para facilitar o cumprimento, protegendo simultaneamente os excedentes florestais que, de outra forma, poderiam estar sujeitos à desflorestação legal. Dentro desse contexto, Minas Gerais é um dos estados com maior potencial de restauração de Reservas Legais (SOARES-FILHO *et. al*, 2014).

## Florestas comerciais

A implementação de florestas plantadas para uso comercial em propriedades rurais pode gerar renda de longo prazo para o produtor por meio da venda de madeira. A plantação de espécies exóticas do gênero *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*, em conjunto com outras espécies, correspondem à 21,5% das florestas plantadas no Brasil (MINAS GERAIS, 2022). Essas florestas fornecem matéria-prima essencial para diversas indústrias, como as de papel e celulose, siderurgia, entre outras, além de oferecerem uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas e para a remoção de carbono (MAPA, 2024).

Apesar dos benefícios, a expansão das florestas plantadas enfrenta uma série de desafios. A adoção de práticas de plantio ainda possui limitações devido às barreiras econômicas<sup>14</sup>, técnicas e de percepção entre os produtores rurais. Vale destacar a existência de lacunas de conhecimento sobre técnicas de florestas plantadas de baixo impacto ambiental com suporte à biodiversidade. Políticas de incentivo e apoio técnico são importantes para superar esses obstáculos de maneira ampla (MCTI, 2017; MAPA, 2024).

## Iniciativas transversais

### Biogás oriundo de resíduos agropecuários

A utilização de resíduos agropecuários para a produção de energia, especialmente por meio da geração de biogás e biometano, é uma prática estratégica para a agricultura de baixo carbono, alinhada com os objetivos de descarbonização do setor agropecuário. Essa

---

<sup>14</sup> Estas incluem incertezas com relação ao retorno do investimento no longo prazo, o alto investimento inicial e, em alguns casos, a restrição desse capital.



abordagem está prevista em diversos planos e legislações importantes, como o PLAC-MG e o Plano ABC+/Minas Gerais.

A conversão de resíduos agrícolas (dejetos animais e resíduos de culturas, a exemplo da cana-de-açúcar) em biogás e biometano representa uma forma eficiente de reaproveitar recursos orgânicos e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Além disso, a captura e utilização de biogás para geração de energia é uma tecnologia crucial para a descarbonização do setor agropecuário, com potencial para transformar resíduos em uma fonte energética limpa e renovável, promovendo a sustentabilidade (ABREN, 2024).

Nacionalmente, políticas públicas vigentes<sup>15</sup> destacam a relevância econômica e ambiental da produção de biometano a partir de resíduos agropecuários, que oferece uma alternativa estratégica ao gás natural, além de contribuir para a redução de emissões de GEE. A Lei nº 14.993 de 2024, que estabelece a adição gradual de biometano ao gás natural – começando com 1% em 2026 e alcançando 10% até 2034 – é um marco regulatório que reforça a valorização dos resíduos agropecuários como fonte energética.

A nível estadual, Minas Gerais tem uma política para o biogás e o biometano (Lei nº 24.396 de julho de 2023), que prevê o aumento na utilização do biometano em serviços de transporte público. Essa política estabelece, ainda, o incremento, em bases econômicas, sociais e ambientais, da participação do biogás e do biometano na matriz energética estadual e a promoção da sinergia entre a gestão eficiente dos resíduos sólidos e industriais e a geração de energias renováveis (MINAS GERAIS, 2023).

O avanço das políticas públicas a nível nacional e estadual reflete um crescente reconhecimento dos benefícios econômicos e ambientais do uso de biometano, inclusive no sentido de ampliar a competitividade do setor agrícola, ao transformar produtores rurais em fornecedores de energia limpa e renovável. Em Minas Gerais, especialmente, a possibilidade de gerar biogás a partir de resíduos da cana-de-açúcar e vinhaça abre novas oportunidades para inovação e ampliação da diversificação das fontes energéticas do estado, com um grande potencial para a criação de um sistema energético local mais sustentável.

Todavia, é preciso ressaltar que a implementação dessa prática ainda enfrenta desafios significativos. Embora o número de plantas de biogás tenha aumentado substancialmente, especialmente entre 2010 e 2019, período em que o número de biodigestores com uso energético saltou de 1 para 334, a adoção generalizada da tecnologia continua sendo um desafio. Muitos produtores rurais, principalmente os pequenos e médios, enfrentam barreiras de acesso a financiamento, à tecnologia e ao conhecimento técnico necessários para

---

<sup>15</sup> Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio e o Programa Nacional de Redução de Metano de Resíduos Orgânicos.



viabilizar a instalação e operação desses sistemas. Além disso, a falta de infraestrutura adequada e a complexidade na gestão dos resíduos agropecuários podem dificultar a implementação em larga escala (MAPA, 2019).

Para superar esses obstáculos, destacam-se os seguintes fatores:

- Intensificação dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação;
- Transferência de tecnologia;
- Incentivos fiscais e políticas públicas voltadas para a capacitação e o apoio aos pequenos e médios produtores;
- Programas de capacitação técnica para a instalação e manutenção de biodigestores e sistemas de aproveitamento energético de biogás;
- Integração entre setores público e privado para a promoção de um modelo de bioenergia sustentável, que, além de contribuir para a redução das emissões de GEE, promova a competitividade do setor agropecuário e a geração de energia limpa no Brasil.



# CLASSIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

A metodologia utilizada para classificar as tecnologias de redução de emissões de GEE do setor de AFOLU foi baseada na atribuição de notas de 1 (um) a 3 (três) para quatro critérios:

- Potencial de redução de emissões;
- Barreiras tecnológicas;
- Barreiras econômicas;
- Alinhamento às políticas climáticas.

Para o potencial de redução de emissões, notas mais altas foram atribuídas a tecnologias com maior capacidade de redução. Em contrapartida, para as barreiras tecnológicas e econômicas, a nota foi inversamente proporcional: quanto maior a barreira, menor a nota. Por fim, a pontuação para o alinhamento às políticas climáticas foi atribuída da seguinte forma:

- Nota 1, quando não foi possível identificar um alinhamento às políticas estaduais ou nacionais;
- Nota 2, quando foi possível identificar alinhamento às políticas nacionais ou estaduais;
- Nota 3, quando o alinhamento abarca políticas nacionais e estaduais.

Para cada um dos critérios citados, as notas foram estabelecidas a partir da avaliação dos documentos analisados, da expertise da WayCarbon e do potencial de expansão e das barreiras descritas nas seções anteriores deste diagnóstico. A Figura 8, a seguir, apresenta o detalhamento dos critérios e das notas, considerando a atribuição dos níveis “alto”, “médio” e “baixo” para cada nota possível dentro dos quatro critérios observados. Na sequência, na Tabela 3, as notas finais são apresentadas para cada uma das tecnologias.



Figura 8: Critérios de classificação das tecnologias de descarbonização

Potencial de redução de emissões		
1: Baixo	2: Médio	3: Alto
Categoria com emissões pouco significativas e/ou tecnologias que levarão a pequena redução de emissões	Categoria com emissões significativas e/ou tecnologias que levarão a redução significativa de emissões	Categoria com emissões muito significativas e/ou tecnologias que levarão a grande redução de emissões
Barreiras tecnológicas		
1: Alta	2: Média	3: Baixa
Projetos de P&D; Baixa maturidade tecnológica para implementação	Tecnologias adotadas por players internacionais ou em caráter experimental por players nacionais; Média maturidade tecnológica para implementação	Tecnologias implementadas por players nacionais; Alta maturidade tecnológica para implementação
Barreiras econômicas		
1: Alta	2: Média	3: Baixa
Tecnologias demandam altos investimentos públicos e privados	Tecnologias demandam investimentos públicos ou privados	Tecnologias demandam baixo investimento público ou privado
Alinhamento às políticas climáticas		
1: Baixo	2: Médio	3: Alto
Tecnologia ausente das duas políticas (nacional e estadual)	Tecnologia alinhada a somente uma das políticas (nacional ou estadual)	Tecnologia alinhada à política climática nacional e à estadual

Fonte: Elaboração própria



Tabela 3: Notas atribuídas às tecnologias avaliadas

Tecnologias	Potencial de redução/remoção de emissões das ações	Alinhamento às políticas climáticas	Barreiras tecnológicas	Barreiras econômicas	Classificação
<b>Pecuária de baixo carbono</b>					
Melhoramento genético	3	3	3	2	54
Manejo nutricional	3	3	3	2	54
Recuperação de pastagens	3	3	3	2	54
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)	3	3	2	2	36
Manejo de dejetos da produção animal	3	3	2	2	36
Aditivos alimentares	2	1	2	1	4
<b>Agricultura de baixo carbono</b>					
Sistema Plantio Direto (SPD)	2	3	3	3	54
Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)	2	3	3	3	54
Adubação verde	3	3	2	3	54
Manejo adequado de fertilizantes nitrogenados	3	3	2	2	36
Manejo adequado de corretivos	2	3	3	2	36
Uso agrícola de biocarvão	3	1	1	1	3
<b>Florestas</b>					
Redução de desmatamento	3	3	3	2	54
Restauração Florestal	3	3	3	2	54
Floresta Plantada	3	3	3	2	54
<b>Iniciativas transversais</b>					
Biogás oriundo de resíduos agropecuários	3	2	1	2	18

Fonte: Elaboração própria



Importante notar que a multiplicação das quatro notas definiu a classificação das tecnologias, conforme modelo conceitual desenvolvido pela Accenture e adaptado pela WayCarbon, que se divide em 3 passos: mitigar a base, acelerar a transição e estender a fronteira (ACCENTURE, 2020).

- Tecnologias com pontuação maior ou igual a 37 foram classificadas como “mitigar a base”, indicando iniciativas simples e viáveis que podem, em alguns casos, trazer retorno financeiro;
- Tecnologias com pontuação entre 13 e 36 foram classificadas como “acelerar a transição”, referindo-se àquelas que possuem custos altos ou disponibilidade limitada no curto prazo, podendo dificultar a implantação imediata;
- Tecnologias com pontuação entre 1 e 12 foram classificadas como “estender a fronteira”, representando inovações disruptivas que podem não estar disponíveis em larga escala, mas que serão fundamentais a longo prazo.

A avaliação das tecnologias resultou na classificação apresentada na Figura 9.

Figura 9: Resultado da avaliação das tecnologias



Fonte: Elaboração própria

A classificação das tecnologias apresentadas na Tabela 3 e na Figura 9 foram discutidas no workshop de engajamento com os integrantes do Grupo de Trabalho do setor de AFOLU do projeto Rota, a fim de coletar subsídios de atores relevantes do estado envolvidos em políticas e ações do setor. Esse processo permitiu o refinamento da classificação e o aprimoramento das análises realizadas pela WayCarbon, com base na avaliação de documentos e dados secundários.



## DESTAQUES E PRÓXIMOS PASSOS

Por meio das informações contidas neste diagnóstico, é possível perceber a relevância do setor de AFOLU para a descarbonização de Minas Gerais. Os desafios são consideráveis, sendo importante destacar alguns pontos:

- A pecuária é a principal alavanca de emissões do estado, portanto, a descarbonização do setor exige um elevado grau de colaboração entre poder público e privado, levando assistência técnica, tecnologia e financiamento aos produtores. Com isso, espera-se obter ganhos de produtividade, reduzir o tempo até o abate, pastagens bem manejadas, bem como a viabilização de biodigestores em sistemas sob confinamento;
- Especificamente para a agricultura, o uso de tecnologias já conhecidas, mas que necessitam ser consolidadas, a exemplo do manejo racional de fertilizantes nitrogenados e da substituição destes por outras formas de fertilização, podem trazer reduções significativas de emissões de GEE. Essas tecnologias dependem de soluções mais práticas para se viabilizarem, tal como assistência técnica especializada e sensibilização para promover, entre os produtores, a compreensão de que a substituição de tecnologias antigas pode ser vantajosa. Vale destacar ainda que o uso correto de técnicas já consolidadas, como o SPD, pode trazer ganhos em produtividade, menor necessidade de adubos e corretivos, além de aumentar o sequestro de carbono no solo;
- De forma mais disruptiva, tem-se a necessidade de facilitação e atração de investimentos privados para a instalação de novas fábricas de biocarvão, disseminação aos produtores do uso desse insumo no campo e financiamento de estudos que mensurem a oportunidade de armazenamento de carbono decorrente de sua aplicação;
- Conectando pecuária, agricultura e florestas, a implementação de modalidades de cultivo integrado traz ganhos tanto para a agricultura quanto para a pecuária e florestas, aumentando de forma significativa a produtividade por unidade de área cultivada, promovendo reduções de emissão de GEE e incrementando os estoques de carbono<sup>16</sup>;
- Para o manejo florestal, a oportunidade reside em concretizar as iniciativas acima para que o agronegócio consiga aumentar sua produtividade e continuar conservando as florestas nativas. Ações integradas de regularização fundiária e ambiental, bem como a criação de mecanismos de pagamento por serviços ambientais e incentivo à produção sustentável também são importantes instrumentos tanto para a preservação das florestas quanto para a recuperação de áreas já desmatadas.

As tecnologias de baixo carbono estão postas. Todavia, uma implementação efetiva requer superar barreiras estabelecidas, sejam elas financeiras, tecnológicas e de inovação, culturais

---

<sup>16</sup> O aumento nos estoques de carbono pode ser tanto da biomassa aérea, quando presente o componente florestal, quanto do solo, quando presente a pastagem.



ou políticas. Ao longo do projeto, por meio da colaboração de diversos atores especialistas no setor, espera-se que mais soluções além das já citadas sejam elencadas e utilizadas com clareza na construção do caminho da descarbonização de Minas Gerais no setor de AFOLU.

## Próximos passos

Os pontos destacados neste diagnóstico evidenciam os avanços e os desafios tecnológicos e financeiros associados à descarbonização do setor agropecuário em Minas Gerais, considerando a diversidade de estratégias e tecnologias avaliadas. Com base no conjunto de informações apresentadas no diagnóstico setorial, os próximos passos do projeto Rota buscam aprofundar as análises relativas a cada setor-chave do programa, por meio da elaboração de cenários de descarbonização e da priorização de ações estratégicas, alinhando as iniciativas aos potenciais de redução de emissões e à viabilidade econômica. Com isso, espera-se direcionar investimentos, em especial privados, para as soluções mais eficazes e aplicáveis ao contexto estadual em cada um dos setores do Rota.

Mais especificamente, a próxima etapa do desenvolvimento do *roadmap* do setor de AFOLU será a de elaboração dos cenários de descarbonização, que tem como atividades principais:

- Análise e consolidação das metas;
- Avaliação das rotas tecnológicas e estimação de custos financeiros;
- Consulta aos atores do setor em análise;
- Definição de cenários de descarbonização (estudo quantitativo);
- Desenvolvimento de relatório síntese sobre os cenários elaborados.

Uma vez construídos os cenários, seguimos para as oportunidades de investimento, etapa na qual serão priorizadas ações de descarbonização – mapeadas a partir do diagnóstico setorial e dos cenários – e identificados custos e fontes de financiamento para viabilizar a sua implementação no estado de Minas Gerais. Essa etapa tem como atividades principais:

- Construção da curva marginal de abatimento para o setor em análise;
- Priorização de alternativas tecnológicas de descarbonização;
- Identificação de potenciais iniciativas e tecnologias de descarbonização para o setor;
- Validação do portfólio proposto de tecnologias de descarbonização com atores-chave;
- Estimativa de investimentos necessários;
- Construção de portfólio de investimentos;
- Identificação de fontes de investimento.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREN, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM DE ENERGIA. ABREN e FIEMG discutem caminhos para a produção sustentável do biogás e biometano em Minas Gerais, 2024. Disponível em: <https://abren.org.br/2024/05/28/abren-e-fiemg-discutem-caminhos-para-a-producao-sustentavel-do-biogas-e-biometano-em-minas-gerais/>. Acesso em: 07 out. 2024.

ACCENTURE. Decarbonizing Energy: From A to Zero. 2020. Disponível em: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/pdf/pdf-135/accenture-decarbonizing-energy-section1-ldm.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

AEN, Agência Estadual de Notícias: Paraná. Fixação biológica de nitrogênio gera lucro e benefício ambiental na produção de soja, aponta IDR; 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Fixacao-biologica-de-nitrogenio-gera-lucro-e-beneficio-ambiental-na-producao-de-soja-aponta>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ALMG; ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Lei nº 24.940, de 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/24940/2024/>. Acesso em: 01 out. 2024

Amazônia 2030. Destinação de Florestas Públicas Um meio de combate à grilagem e ao desmatamento ilegal na Amazônia. Disponível em: [https://amazonia2030.org.br/wp-content/uploads/2022/03/AMZ2030\\_30.pdf](https://amazonia2030.org.br/wp-content/uploads/2022/03/AMZ2030_30.pdf). Acesso em: 11 nov. 2024.

ANDRADE, C. A.; PUGA, A. P. Biocarvão: uso agrícola e ambiental. In: BETTIOL, W. (Ed.). *Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical*. Brasília: Embrapa, 2023. p. 345-370. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1161281/biocarvao-uso-agricola-e-ambiental>. Acesso em: 17 jan. 2025.

ANFAVEA, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2020. 2020. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario2020/anuario.pdf>. Acesso em: outubro, 2024.

BARROS, F. DE. V. et al. Cost-effective restoration for carbon sequestration across Brazil's biomes. *Science of The Total Environment*, 5 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162600>. Acesso em: 17 jan. 2025. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, 28 maio 2012. Disponível em: [http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei%2012.651-2012?OpenDocument](http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%2012.651-2012?OpenDocument). Acesso em: 15 jan. 2025.



BRASIL. A NDC do Brasil: Determinação nacional em contribuir e transformar. 2024. Disponível em: [https://unfccc.int/sites/default/files/2024-11/Brazil\\_Second%20Nationally%20Determined%20Contribution%20%28NDC%29\\_November2024.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/2024-11/Brazil_Second%20Nationally%20Determined%20Contribution%20%28NDC%29_November2024.pdf) Acesso em 21 jan. 25

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ, Uma Estratégia de Descarbonização para uma Economia Brasileira de Zero Carbono Líquido em 2050: Instrumentos de Política e Planos Setoriais de Mitigação; 2023. Disponível em: [https://coalizaobr.com.br/wp-content/uploads/2023/05/Plano\\_Mitigacao\\_Completo\\_-\\_Estrategia\\_Descarbonizacao.pdf](https://coalizaobr.com.br/wp-content/uploads/2023/05/Plano_Mitigacao_Completo_-_Estrategia_Descarbonizacao.pdf). Acesso em: 12 nov. 2024.

CNA, CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Puxado pelo crescimento recorde de 15,1% da agropecuária, PIB brasileiro fecha 2023 com alta de 2,9%; março de 2024. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/puxado-pelo-crescimento-recorde-de-15-1-da-agropecuaria-pib-brasileiro-fecha-2023-com-alta-de-2-9#:~:text=O forte crescimento do setor do PIB nacional no ano. Acesso em: 12 nov. 2024.>

CRIPPA, Monica et al. GHG emissions of all world countries: 2023. European Commission. Joint Research Centre., [S.L.], set. 2023. Publications Office. <http://dx.doi.org/10.2760/235266>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/373820753\\_GHG\\_emissions\\_of\\_all\\_world\\_countries](https://www.researchgate.net/publication/373820753_GHG_emissions_of_all_world_countries). Acesso em: 17 jan. 2025. CURTIS, P. G. et al. Classifying drivers of global forest loss. Science, v. 361, n. 6407, p. 1108–1111, 13 set. 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau3445>. Acesso em: 17 jan. 2025.

DE ALMEIDA, R. E. M. Fertilizantes de eficiência aumentada: uso de ureia de liberação controlada ou com inibidores em sistemas agrícolas sustentáveis. TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1056527/1/CNPASA2016doc28.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

DE LIMA, C. Z., ESTEVAM, C. G., PAVÃO, E.M., PINTO, T. P., ASSAD, E. D. (2022). Potencial de mitigação de gases de efeito estufa das ações de descarbonização da produção de soja até 2030. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em: [https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-02/potencial\\_de\\_mitigacao\\_de\\_gases\\_de\\_efeito\\_estufa\\_das\\_acoes\\_de\\_descarbonizacao\\_da\\_producao\\_de\\_soja\\_ate\\_2030.pdf](https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-02/potencial_de_mitigacao_de_gases_de_efeito_estufa_das_acoes_de_descarbonizacao_da_producao_de_soja_ate_2030.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.

EMBRAPA. Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152965/1/Agricultura-Baixa-Emissao.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.



EMBRAPA. Estudo aponta dificuldades e alternativas para adoção da ILP, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/49771663/estudo-aponta-dificuldades-e-alternativas-para-adocao-da-ilp>. Acesso em: 12 nov. 2024.

EMBRAPA. Nota Técnica sobre Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso em: 12 nov. 2024.

EMBRAPA. Sistemas ILPF; 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1118993/1/SistemasILPF.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

EMBRAPA. Tratamento de Dejetos Animais; sd. Disponível em: <https://www.atermaisdigital.cnptia.embrapa.br/web/mudancas-climaticas/mitigacao/tratamento-de-dejetos-animais>. Acesso em: 12 nov. 2024.

FAEMG. VBP agropecuário de Minas cresce 7,2% até setembro; Outubro de 2024. Disponível em: <https://www.sistemafaemg.org.br/noticias/vbp-agropecuario-de-minas-cresce-7-2-ate-setembro>. Acesso em: 12 nov. 2024.

FGV, Fundação Getúlio Vargas. Intensificação da pecuária brasileira: seus impactos no desmatamento evitado, na produção de carne e na redução de emissões de gases de efeito estufa, 2016. Disponível em: [https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-03/Completo\\_Pecuaria-Site-FINAL.pdf](https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-03/Completo_Pecuaria-Site-FINAL.pdf). Acesso em: 12 nov. 2024.

FIXEN, P. E. A brief account of the genesis of 4R nutrient stewardship. *Agronomy Journal*, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20315>. Acesso em: 25 nov. 2024.

FJP, FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Distribuição das atividades econômicas entre as regiões geográficas imediatas de Minas Gerais no período 2010-2019. Belo Horizonte: FJP, 2022.

FJP, FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Produto Interno Bruto dos municípios de Minas Gerais: ano de referência 2019. Belo Horizonte: FJP, 2022. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/produto-interno-bruto-pib-de-minas-gerais/>. Acesso em: 17 jan. 2025.

FJP, FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Produto Interno Bruto (PIB) Trimestral de Minas Gerais: 4º Trimestre de 2023. Belo Horizonte: FJP, 2024a. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/produto-interno-bruto-pib-de-minas-gerais/>. Acesso em: 17 jan. 2025.

FJP, FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. PIB do agronegócio de Minas Gerais ultrapassa R\$ 228 bilhões em 2023. Belo Horizonte: FJP, 2022b. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/pib-do-agronegocio-de-minas-gerais-ultrapassa-r-228-bilhoes-em-2023/>. Acesso em: 16 dez. 2024.



GENRO, T. C. M.; LARA, D. M. de; LAMPERT, V. do N. *Diagnóstico da produção de leite em sistemas de produção orgânicos e convencionais no Brasil*. 2023. Folhetos. Embrapa Pecuária Sul. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1158126/1/CT-109-Online.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

GLOBO RURAL. Atlas Agro inicia construção de fábrica de fertilizantes nitrogenados verdes em MG; 2024a. Disponível em: <https://globorural.globo.com/negocios/noticia/2024/02/atlas-agro-inicia-construcao-de-fabrica-de-fertilizantes-nitrogenados-verdes-em-mg.ghtml>. Acesso em: 12 nov. 2024.

GLOBO RURAL. NetZero constrói terceira fábrica de biochar. *Globo Rural*, 02 out. 2024b. Disponível em: <https://globorural.globo.com/agricultura/noticia/2024/10/netzero-constrói-terceira-fabrica-de-biochar.ghtml>. Acesso em: 25 nov. 2024

GRISCOM, B. W. et al. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 44, p. 11645–11650, 16 out. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320536154\\_Natural\\_climate\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/320536154_Natural_climate_solutions). Acesso em: 17 jan. 2025.

GRUTZMACHER, P.; PUGA, A. P.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PACKER, A. P.; ANDRADE, C. A. Carbon stability and fertilizer induced N<sub>2</sub>O emissions mitigation in soil treated with biochar. *Science of the Total Environment*, v. 625, p. 1459-1466, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.196>. Acesso em: 17 jan. 2025.

HAMADA, Emília et al. Cenários climáticos futuros para o Brasil. 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/979893>. Acesso em: 17 jan. 2025.

IBF, Instituto Brasileiro de Florestas. Adubação Verde; 2024. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/adubacao-verde>. Acesso em: 12 nov. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama Estadual - Minas Gerais. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 9 set. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa da Pecuária Municipal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html#:~:text=O%20valor%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20na,ao%20ano%20anterior>. Acesso em: 7 nov. 2024



IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS 2023. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2023>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ICLEI, Governos Locais pela Sustentabilidade. Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais (PLAC-MG). 2023. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2023/06/plac-mg-05062023.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

IMAZON. *Linha do tempo: entenda como ocorreu a ocupação da Amazônia*. 2013. Disponível em: <https://amazon.org.br/imprensa/linha-do-tempo-entenda-como-ocorreu-a-ocupacao-da-amazonia/>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MACHADO, Anderson Wolf. Amônia verde / renovável: quais as vantagens? Agrolink, 01 jul. 2024. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/adubacao-mineral/amonia-verde---renovavel--quais-as-vantagens-\\_489432.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/adubacao-mineral/amonia-verde---renovavel--quais-as-vantagens-_489432.html). Acesso em: 12 nov. 2024.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Fertilizantes e o produtor rural, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/fertilizantes-e-o-produtor-rural>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Nota Técnica: Diagnóstico da expansão da adoção da tecnologia de Tratamento de Dejetos Animais (TDA) no território brasileiro entre 2010 e 2019. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-supera-metas-na-pecuaria-sustentavel-com- aproveitamento-de-dejetos-animais/NotaTcnicaDiagnsticoTratamentodeDejetosAnimaisnoBrasilentre2010e2019MAPA.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Objetivo Estratégico 1 do Plano Nacional de Fertilizantes; 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/objetivos-estrategicos-metas-e-acoes/objetivo-estrategico-1>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano ABC e ABC+; 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmals>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MAPBIOMAS. Coleção 9: série anual de mapas de cobertura e uso de solo do brasil. Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/Brasil>. Acesso em: 15 jan. 2025.



MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Modelagem Setorial de Opções de Baixo Carbono para Agricultura, Floresta e Outros Usos do Solo (AFOLU); 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/arquivos/opcoes-de-mitigacao-de-emissoes-de-gee-em-setores-chave/modelagem-setorial-de-opcoes-de-baixo-carbono-para-agricultura-floresta-e-outros-usos-do-solo-afolu.pdf/view>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MCTIC. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e Comunicações. Cenários do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil. Brasília: MCTIC, 2017. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/projeto\\_opcoes\\_mitigacao/publicacoes/Setor-AFOLU.pdf](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/projeto_opcoes_mitigacao/publicacoes/Setor-AFOLU.pdf). Acesso em: 08 nov. 2024.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. SIRENE: Sistema de Registro Nacional de Emissões. Brasília: MCTI, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>. Acesso em: 23 jan. 2025.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM). Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas, 2014.

MINAS GERAIS. Lei nº 24.940, de 26 de julho de 2024. Estabelece objetivos para a política estadual do hidrogênio de baixo carbono e do hidrogênio verde. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/LEI/24940/2024/>. Acesso em: 12 nov. 2024

MINAS GERAIS. Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais: Sumário Executivo. 2023. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2023/06/plac-mg-05062023.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024. COPPE-UFRJ/UFMG/USP. Plano de descarbonização para o Estado de Minas Gerais dentro de um Brasil clima neutro em 2050. 2022. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2023/09/plano-descarbonizacao-minasgerais-coppe-ppe-feam.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD). 4o Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 2022. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2023/06/relatorio-inventario-mg.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2025.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD). Portal Climas Gerais. Disponível em: <https://clima-gerais.meioambiente.mg.gov.br/vulnerabilidade-territorial>. Acesso em: 9 set. 2024.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD). Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática. 2024. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/gestao-ambiental/-indice-mineiro-de-vulnerabilidade->





ipcc/arquivos/pdf/copy\_of\_IPCC\_Longer\_Report\_2023\_Portugues.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.

REDE ILPF. *ILPF em números*. 2025. Disponível em: <https://redeilpf.org.br/ilpf-em-numeros/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

Robertson, G.P., Grace, P.R., 2004. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. *Environ. Dev. Sustain.* 6, 51–63. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B: ENVI.0000003629.32997.9e>. Acesso em: 21 jan. 2025.

PUGA, A. P.; GRUTZMACHER, P.; CERRI, C. E. P.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A. Biochar-based nitrogen fertilizers: Greenhouse gas emissions, use efficiency, and maize yield in tropical soils. *Science of the Total Environment*, v. 704, 135375, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135375>. Acesso em: 21 jan. 2025.

SARKIS, L. F.; DUTRA, M. P.; DOS SANTOS, C. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; GUELF, D.. Nitrogen fertilizers technologies as a smart strategy to mitigate nitrous oxide emissions and preserve carbon and nitrogen soil stocks in a coffee crop system. *Atmospheric Environment: X*, v. 20, p. 100224, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162123000242>. Acesso em: 21 jan. 2025.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil; 2022. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/03/SEEG-METANO.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Soluções para redução das emissões de gases de efeito estufa nos municípios brasileiros, 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2023/12/SEEG-SOLUCOES.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024. [entreriordeminas.mg.gov.br/noticia/28465](https://entreriordeminas.mg.gov.br/noticia/28465). Acesso em: 12 nov. 2024.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363–364, 24 abr. 2014. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1246663>. Acesso em: 21 jan. 2025.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. Climate Watch. 2024. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/>. Acesso em: 18 out. 2024.



## **Bruna Araújo**

bruna.araujo@waycarbon.com

## **Janaina Nunes**

janaina.nunes@waycarbon.com

## **Laise Mondo**

laise.mondo@waycarbon.com

## **Letícia Gavioli**

leticia.gavioli@waycarbon.com

## **Nathalia Pereira**

nathalia.pereira@waycarbon.com

## **Priscila Grutzmacher**

priscila.grutzmacher@waycarbon.com

## **Rafael Cartolano**

rafael.cartolano@waycarbon.com

## **Victor Vieira**

victor.vieira@waycarbon.com

