

Brasil 2045

Mitigação das emissões de metano

**Brasil 2045: Construindo uma potência ambiental
Adendo ao volume 3 (Bases para proposta de 2ª NDC
para o Brasil - 2030-2035), 2025**



OBSERVATÓRIO
DO CLIMA



SEEG

Brasil 2045

Construindo uma potência ambiental

Adendo ao volume 3 (Bases para proposta de 2ª NDC
para o Brasil - 2030-2035)

Mitigação das emissões de metano

Nota Técnica
Agosto de 2025



OBSERVATÓRIO
DO CLIMA



AUTORES



David Tsai

HEMA/OC

Gabriel Quintana

Marina Piatto

Paulo Camuri

Priscila Alves

Renata Potenza

Sofia Lasmar

Imaflora

Felipe Barcellos e Silva

Helen Sousa

Ingrid Graces

HEMA

Ane Alencar

Bárbara Zimbres

IPAM

Iris Coluna

Joice Oliveira

ICLEI-SAMS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. PREMISSAS E AÇÕES DE MITIGAÇÃO DA PROPOSTA DO OC PARA UMA NDC 2020-2035	8
3. EMISSÕES DE METANO NO CENÁRIO DA PROPOSTA	12
3.1. Síntese das emissões de metano do cenário	13
3.2. Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)	15
3.2.1. Pressupostos do cenário	15
3.2.2. Escopo das emissões de Energia e PIUP e resultados gerais	16
3.2.3. Produção de combustíveis	18
3.2.4. Edificações	19
3.3. Agropecuária	22
3.3.1. Emissões de metano na pecuária	22
3.3.2. Emissões de metano na agricultura	23
3.3.3. Mitigação das emissões de metano da agropecuária	24
3.3.3.1. Terminação Intensiva (TI)	32
3.3.3.2. Tratamento de Dejetos Animais (TDA)	32
3.3.3.3. Melhoramento e Manipulação da Dieta Animal	32
3.3.3.4. Melhoramento Genético Animal (MGA)	34
3.3.3.5. Abate Precoce	34
3.3.3.6. Manipulação da Fermentação Ruminal	35
3.3.3.7. Práticas de Manejo e Irrigação no Cultivo de Arroz	35
3.3.3.8. Eliminação da Queima dos Resíduos Agrícolas	36
3.4. Mudanças de Uso da Terra e Florestas	37
3.5. Resíduos	39
3.5.1. Resíduos sólidos	41
3.5.2. Efluentes líquidos	41
3.5.3. Balanço de emissões	42



4. OPORTUNIDADES DE APRIMORAMENTO	46
DAS ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE METANO	
4.1. Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos	46
4.1.1 Produção de combustíveis fósseis	46
4.1.2 Edificações: uso residencial de lenha	46
4.2. Agropecuária	47
4.2.1 Pecuária	47
4.2.2 Agricultura	49
4.2.3 Queimadas associadas a pasto	50
4.3. Mudanças de Uso da Terra e Florestas	52
4.3.1. Queimadas não associadas a desmatamento	52
4.3.2. Reservatórios artificiais	55
4.4. Resíduos	56
4.4.1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos	56
4.4.2. Recuperação de metano em aterros sanitários	57
4.4.3. Plataformas de monitoramento de metano	57
REFERÊNCIAS	60

Brasil 2045

1

INTRODUÇÃO





O presente documento complementa as “Bases para a proposta de 2ª NDC para o Brasil (2030-2035) do Observatório do Clima” (Observatório do Clima, 2024), apresentando as emissões de metano estimadas no exercício de mitigação. Para tanto, foi utilizada a atual base de dados do SEEG, a coleção 12.0. Ademais, um novo cenário adicional para o setor de agropecuária - o setor responsável por mais de três quartos das emissões de metano no Brasil - foi considerado, a título de contribuir para a discussão de uma ambição de mitigação de metano, considerando que o Brasil assinou o Compromisso Global do Metano, uma iniciativa originada em uma articulação dos EUA e Comunidade Europeia e anunciada em setembro de 2021, convidando os países para reduzir as emissões desse gás de efeito estufa. Em novembro do mesmo ano, durante a COP26, uma centena de países aderiram ao acordo.

Os participantes que aderiram ao compromisso concordaram em adotar ações voluntárias para contribuir com um esforço coletivo para reduzir as emissões globais de metano em pelo menos 30% até 2030 em relação aos níveis de 2020, o que poderia evitar 0,2°C de aquecimento da Terra até 2050. Apesar disso, no Brasil as emissões anuais de metano em 2023 foram 6% maiores do que as de 2020, segundo dados da coleção 12 do SEEG.

Os participantes também se comprometeram a usar a usar as melhores práticas de inventário de acordo com o IPCC, bem como trabalhar para melhorar continuamente a precisão, transparência, consistência, comparabilidade e integridade dos relatórios nacionais de inventário de gases de efeito estufa sob a UNFCCC e o Acordo de Paris. O compromisso visa catalisar a ação global e fortalecer o apoio às iniciativas internacionais existentes de redução de emissões de metano para avançar no trabalho técnico e político que servirá para sustentar as ações domésticas. Embora não preveja metas para os países, o compromisso envolve a adoção de ações domésticas abrangentes para atingir a meta global, concentrando-se em alcançar todas as reduções viáveis nos setores de energia e resíduos e buscar a redução das emissões agrícolas por meio de inovação tecnológica, bem como incentivos e parcerias com agricultores.

Anualmente, a partir de 2022 acontecerão reuniões ministeriais para avaliar o progresso em relação a meta do acordo de metano. Embora não seja uma obrigação, tem-se a expectativa que os países signatários expressem o seu compromisso interno com a agenda de redução de emissões de metano como já fizeram EUA e União Europeia.

O presente documento do Observatório do Clima também atualiza o exercício realizado pela equipe do SEEG em 2022 “Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil” (Observatório do Clima, 2022), considerando agora tais novos cenários e as novas perspectivas das organizações do OC para a mitigação de emissões.

Brasil 2045

2

**PREMISSAS
E AÇÕES DE
MITIGAÇÃO DA
PROPOSTA DO OC
PARA UMA NDC
2020-2035**



Recapitulando, a proposta do Observatório do Clima para uma NDC 2030-2035 tomou como premissa ser consistente com a contribuição justa do Brasil para um mundo de 1,5oC partindo dos seguintes pressupostos relevantes à estimativa de emissões de metano:

- a. O Brasil atingirá o desmatamento zero¹ e combaterá a degradação em todos os seus biomas em 2030.
- b. O Brasil seguirá a recomendação da Agência Internacional de Energia (2021) em seu cenário NZE (Net Zero Emissions) de não licenciar novos projetos de petróleo, gás fóssil e carvão mineral.

Abaixo são listadas as ações de mitigação consideradas no cenário da proposta do OC, para cada um dos setores de emissão, até 2035, relevantes à estimativa de emissões de metano.

Mudanças de Uso da Terra e Florestas

- Eliminação do desmatamento em todos os biomas, restringindo a área anual desmatada no país a no máximo 1.000 km² a partir de 2030.

Agropecuária

- O abate de 7,5 milhões de bovinos com Terminação Intensiva (TI), terminados com adoção de confinamento, semiconfinamento e com suplementação;
- Para o Tratamento de Dejetos Animais (TDA), alcançar a expansão para 40,5% de uso de biodigestor em relação aos demais sistemas de manejo de dejetos animais, com a conversão total de lagoas anaeróbicas para biodigestores na suinocultura, totalizando a média nacional de 46,4% de adoção de biodigestor;

¹ Não há uma definição de desmatamento zero (DZ) pacificada nas políticas públicas no Brasil. No anexo da INDC, a Contribuição Nacionalmente Determinada Pretendida que se tornou a primeira NDC do país, o compromisso era de alcançar “o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de gases de efeito de estufa provenientes da supressão legal da vegetação até 2030; ou seja, cumpria-se o Código Florestal, admitindo-se, porém, a possibilidade de perder excedentes de vegetação nativa que chegam a 43 milhões de hectares somente na Amazônia e no Cerrado. Em 2023, o PPCDAm (Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal) adotou em sua quinta fase uma definição de DZ semelhante à da NDC, falando na “eliminação do desmatamento ilegal e (na) compensação da supressão legal de vegetação nativa e das emissões de gases de efeito estufa delas provenientes, através do fortalecimento da implementação da legislação florestal e da recuperação e aumento de estoque da vegetação nativa por meio de incentivos econômicos para a conservação e manejo florestal sustentável”. A fim de escapar da armadilha conceitual do “desmatamento ilegal zero”, esta NDC propõe uma vedação total ao desmatamento no país – por meio de uma combinação de aplicação da legislação e incentivos econômicos –, admitindo, porém, uma supressão residual de vegetação nativa de no máximo 1.000 quilômetros quadrados ao ano por intervenções de interesse social ou utilidade pública, declinando ainda mais após 2035. A expansão horizontal da fronteira agrícola fica, portanto, encerrada.

Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)

- **Transportes:** Aumento da eficiência energética nos novos veículos convencionais seguindo a tendência histórica. Incremento gradual de veículos híbridos, elétricos a bateria e a hidrogênio no total de novas vendas, chegando ao valor acumulado de 5,2 milhões de veículos híbridos, 7,6 milhões de elétricos a bateria e 51,5 mil a hidrogênio vendidos entre 2025 e 2035. Melhoria da mobilidade urbana de passageiros, com diminuição do uso do transporte individual motorizado e aumento da utilização dos modos coletivo e ativo. Para isso, deverão ser construídos, de forma adicional aos valores de 2015, quatro mil quilômetros em vias dedicadas a sistemas BRT (bus rapid transit), mil em trilhos de metrô e outros 95 mil quilômetros em ciclovias. Dessa forma, o crescimento da quilometragem percorrida por automóveis será limitado a até 15% entre 2015 e 2035, enquanto aquela trafegada por ônibus urbanos mais do que dobrará no mesmo período.
- **Indústria:** Aumento do uso de eletricidade. Início da utilização de hidrogênio verde em 2030. Redução do consumo de derivados de petróleo entre 2022 e 2035 em mais de 50%. Aposentadoria gradual do uso de carvão mineral e derivados para fabricação de aço e outros produtos metalúrgicos. Combustíveis fósseis limitados a suprir cerca de 15% da demanda energética direta da indústria em 2035. Aumento da eficiência média industrial em 3% entre 2022 e 2035.
- **Produção de combustíveis:** As produções de petróleo, gás fóssil, carvão mineral e de seus derivados serão limitadas ao atendimento da demanda doméstica estimada. Maior controle de emissões fugitivas de metano.
- **Geração de eletricidade:** Congelamento da potência instalada de hidrelétricas a partir de 2022 (110 GW). Todas as usinas movidas a carvão mineral são completamente aposentadas até 2027, enquanto as outras termelétricas a combustíveis fósseis têm a potência total fixada em 26,5 GW (valor de 2022). As capacidades de usinas eólicas e solares fotovoltaicas alcançam, respectivamente, 70 GW e 95 GW em 2035 (em 2022, tanto as eólicas quanto as solares totalizaram 24 GW de potência).
- **Edificações:** Eliminação do uso da lenha para cocção residencial em territórios urbanos até 2030, bem como diminuição gradual da demanda rural. Aquecimento direto solar passa a representar 20% do consumo energético residencial em 2035.
- **Agropecuária:** Ganho de 4% ao ano em eficiência energética até 2030. Aumento do uso de eletricidade em cerca de 25% entre 2022 e 2035, substituindo a queima de óleo diesel.



Resíduos

- Universalização da cobertura do serviço de coleta de efluentes domésticos;
- Encerramento de lixões até 2028;
- Aumento na taxa de recuperação de recicláveis - 24% até 2035;
- Aumento na taxa de recuperação de resíduos orgânicos por meio de compostagem e digestão anaeróbia, 18% até 2035;
- Percentual de biogás aproveitado energeticamente em aterros sanitários e na digestão anaeróbia - 58% até 2035;
- Instalação de centrais de tratamento de efluentes líquidos domésticos com processos aeróbios e reatores anaeróbios com foco na captura de biogás, além da otimização dos sistemas existentes, seja para aumentar a eficiência do tratamento ou de queimadores;
- Não inclusão de rotas de tratamento térmico na gestão de resíduos sólidos.

Brasil 2045

3

**EMISSIONES DE
METANO NO
CENÁRIO DA
PROPOSTA**





Nesta seção é apresentado o cenário de emissões de metano decomposto por setores, segundo um caminho de atingimento do patamar de emissões líquidas compatível com a meta proposta pelo Observatório do Clima para a NDC do Brasil.

O exercício de elaboração deste cenário tomou como base as estimativas de emissões da coleção 11.2 do SEEG e, tal qual o SEEG, teve como responsáveis as seguintes organizações integrantes do OC: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), para o setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas, Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), para o setor de Agropecuária, Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema), para os setores de Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos e Governos Locais Pela Sustentabilidade América do Sul (ICLEI), para o setor de Resíduos. A seção 1.2 apresentou as principais ações de mitigação consideradas no cenário. A seção 3.1 apresenta as emissões sintetizadas. As seções 3.2 a 3.5 apresentam, para cada um dos setores de emissão, as principais premissas, metodologia e resultados.

3.1. Síntese das emissões de metano do cenário

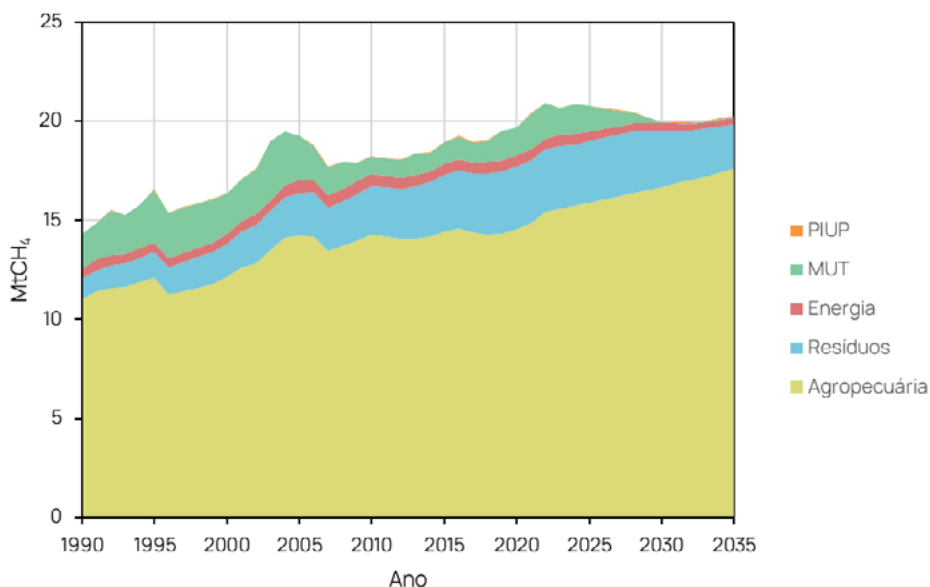
O Quadro 3.1 sintetiza os totais de emissões de metano no cenário elaborado para os anos de 2025, 2030 e 2035, apresentando também as estimativas históricas de 2005, 2010, 2015 e 2020. Os resultados do cenário consistiram em emissões de metano de aproximadamente 20 milhões de toneladas em 2030 e 2035. Para o setor de Agropecuária, como será visto na seção 3.3, foi considerado para este adendo, a fim de contribuir para as discussões de ambição específica para a mitigação de metano, um cenário adicional considerando a adoção de ações de mitigação para além daquelas consideradas na proposta de NDC do OC, quais sejam: Melhoramento e Manipulação da Dieta Animal, Melhoramento Genético Animal, Abate Precoce, Manipulação da Fermentação Ruminal, Práticas de Manejo do Solo e Irrigação no Cultivo de Arroz e Eliminação da Queima dos Resíduos Agrícolas.

Quadro 3.1. Quadro geral de emissões de metano

Valores em MtCH ₄	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Agropecuária (cenário NDC do OC)	14,25	14,30	14,43	14,51	15,94	16789	17,73
Agropecuária (cenário c/ maior ambição)	14,25	14,30	14,43	14,51	13,57	11,96	10,45
Resíduos	2,10	2,42	2,84	3,18	3,09	2,83	2,27
Energia	0,67	0,61	0,57	0,57	0,49	0,36	0,30
MUT	2,23	0,85	1,10	1,40	1,27	0,04	0,04
PIUP	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Total (cenário NDC do OC)	19,26	18,20	18,96	19,67	20,81	20,04	20,38
Total (cenário com maior ambição)	19,26	18,20	18,96	19,67	18,45	15,22	13,09

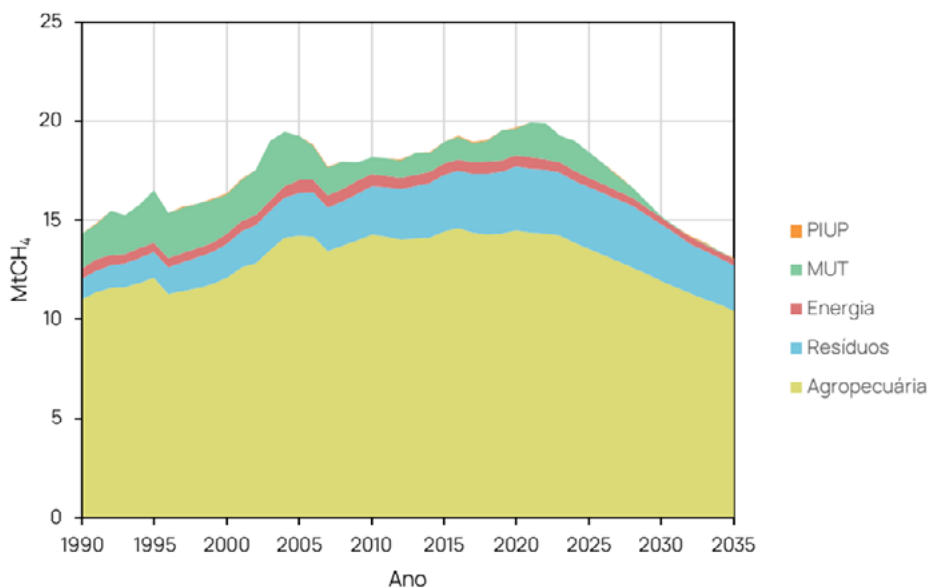
A Figura 3.1.a ilustra as emissões de metano no cenário da proposta de NDC do OC. Observa-se que as emissões de metano permanecem num patamar relativamente estável entre 2020 e 2035, aproximadamente 20 milhões de toneladas anuais.

Figura 3.1.a. Emissões de CH_4 no cenário NDC do OC



Já a Figura 3.1.b ilustra as emissões de metano no cenário com maior ambição para agropecuária. Observa-se que as emissões de metano passam a ter uma trajetória descendente a partir de 2020, reduzindo-se em 23% até 2030 e 33% até 2035. As seções 3.3 a 3.6 detalham as emissões de metano nos cenários para cada um dos setores de emissão.

Figura 3.1.b. Emissões de CH_4 no cenário com maior ambição para agropecuária





3.2. Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)

3.2.1. Pressupostos do cenário

No Brasil, a redução gradual da exploração de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral) e a eliminação do uso precário de lenha responderão pela maior parte da redução de emissões de metano nos setores de Energia e Processos Industriais.

A produção de combustíveis, especialmente a exploração e produção de petróleo e gás natural, configura-se como uma das principais fontes de emissões de metano dos setores de Energia e PIUP combinados (27% em 2023). As emissões nesse segmento decorrem sobretudo de vazamentos em poços, plataformas, unidades de processamento, sistemas de compressão e transporte, além de práticas como venting e flaring, que, embora tecnicamente evitáveis, seguem sendo recorrentes. Tais emissões são chamadas de emissões fugitivas.

No contexto brasileiro, o avanço das fontes renováveis e da eficiência energética deve ser fortemente acompanhado de ações voltadas à superação das desigualdades sociais, regionais e raciais que estruturam o acesso à energia. O subsetor residencial, particularmente nas áreas rurais e periferias urbanas, permanece marcado pelo uso precário da biomassa tradicional, especialmente da lenha, como principal fonte energética para cocção. Esse padrão, além de gerar impactos significativos à saúde e ao meio ambiente, responde pela maior parcela das emissões de metano dos setores de Energia e PIUP combinados (52% em 2023).

Nesse contexto, é indispensável que os investimentos em infraestrutura energética estejam diretamente articulados com programas de combate à pobreza e de justiça energética, com foco na substituição da biomassa tradicional por fontes modernas e acessíveis, como eletrificação renovável, biogás, biometano e cozinhas eficientes, além de garantir o acesso universal à energia limpa e segura. A erradicação da pobreza energética deve, portanto, ser tratada como elemento central da estratégia de mitigação de metano no país, não apenas por seus efeitos climáticos, mas também pelos seus impactos na saúde pública, na redução de desigualdades e na promoção de direitos socioambientais.

É igualmente fundamental reconfigurar os espaços urbanos e rurais, promovendo justiça territorial e energética, de modo a assegurar que a transição energética brasileira seja efetivamente popular, inclusiva e socialmente justa. Isso inclui o fortalecimento de programas de habitação social com acesso garantido à energia limpa, a expansão da geração distribuída em territórios periféricos e a democratização dos benefícios da transição energética.

As emissões de metano do setor de Processos Industriais representaram apenas 0,1% das emissões brasileiras do gás em 2023. Dentre suas principais fontes de emissão destaca-se o uso de carvão vegetal na siderurgia. No entanto, o caminho da descarbonização da indústria deve passar pelo aumento da participação dessa fonte energética em detrimento dos combustíveis fósseis, levando a um aumento das emissões de metano em específico, enquanto as emissões de GEE como um todo diminuem.

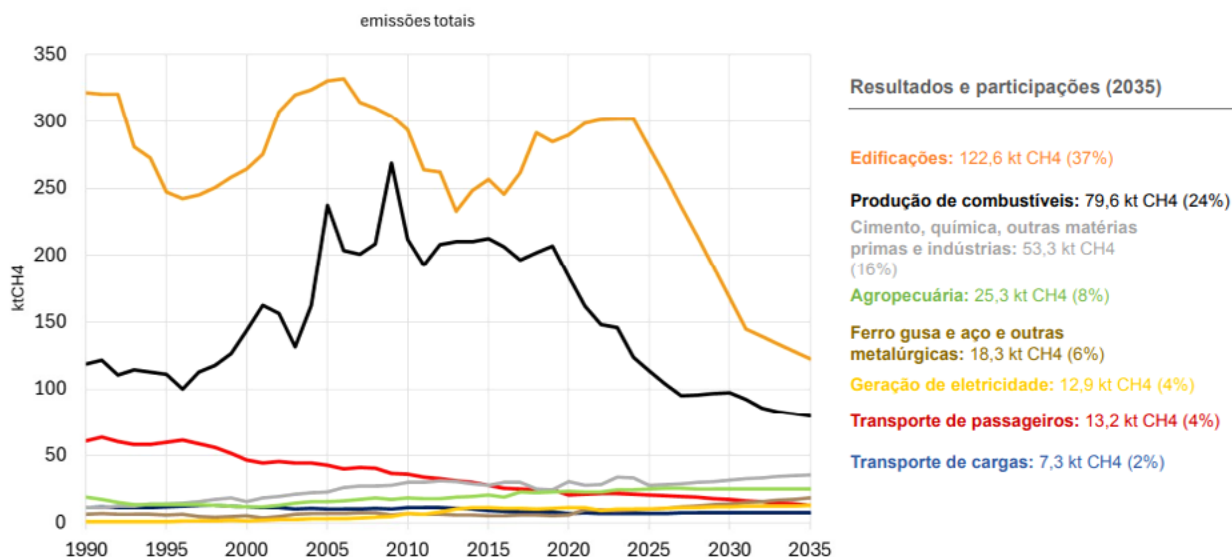
3.2.2. Escopo das emissões de Energia e PIUP e resultados gerais

No setor de Energia, as emissões de metano ocorrem, sobretudo, na queima de biomassa em condições não controladas, principalmente na queima precária de lenha para cocção (uso residencial), e nas chamadas emissões fugitivas, que ocorrem durante as etapas de exploração, produção e processamento de combustíveis fósseis. Essas últimas se tratam de vazamentos, escapes operacionais e liberações não intencionais de gás, especialmente no setor de petróleo e gás. Já na queima de combustíveis, o metano tem participação menos relevante frente ao CO₂, exceto no caso da queima de biomassa e biocombustíveis. No setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP) as emissões de metano ocorrem sobretudo em atividades que utilizam biomassa ou carvão vegetal em processos produtivos, como na indústria siderúrgica, além de algumas etapas da produção de fertilizantes e da indústria química.

A presente análise das emissões de metano foi estruturada considerando nove grandes grupos de atividades: transporte de cargas, transporte de passageiros, indústria de cimento, indústria química e outras matérias-primas, metalurgia, produção de combustíveis, geração de eletricidade e edificações.

As ações de mitigação que endereçam as emissões de metano incluem o controle rigoroso das emissões fugitivas na cadeia de petróleo e gás, a substituição do uso de lenha em condições precárias, a eletrificação na indústria e o aumento da eficiência energética.

Figura 3.2.2.a. Emissões históricas e projetadas de Energia e PIUP segundo atividades gerais

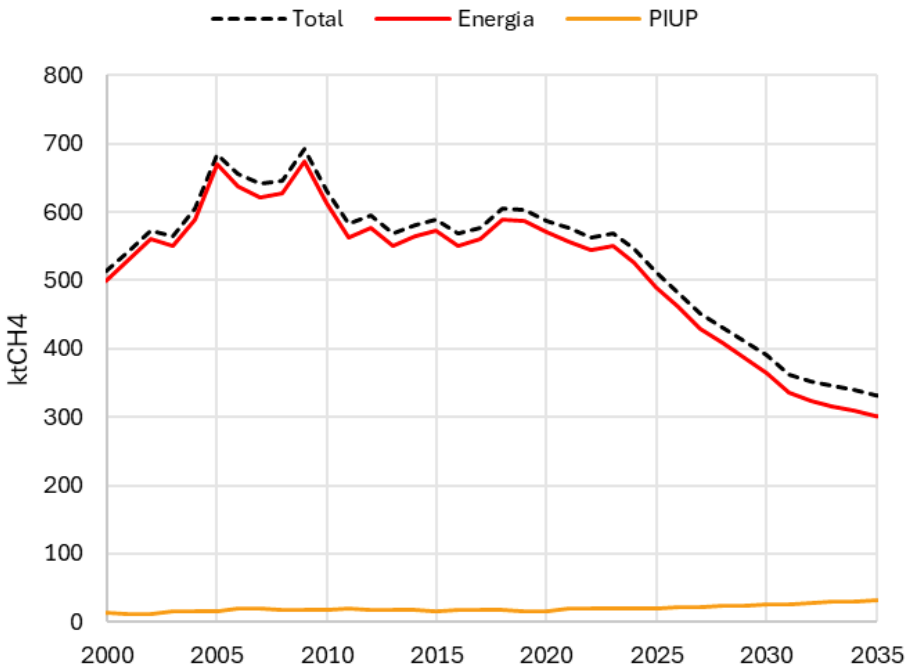




Quadro 3.2.2. Estimativas históricas (2005, 2010, 2015 e 2020 a 2023) e projeções (2024 a 2035) das emissões, em quilotoneladas de CH₄, de Energia e PIUP segundo setores e atividades gerais

	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Edificações	330,67	293,87	256,88	289,58	296,89	301,39	301,79	301,85	281,02	259,37	236,37	214,16	191,37	168,06	144,91	139,06	133,96	128,47	122,60
Produção de combustíveis	237,23	211,91	212,74	184,01	161,67	147,89	146,07	123,65	113,70	103,92	96,10	95,86	96,66	97,44	92,58	85,78	83,13	81,41	79,56
Cimento, química, outras matérias primas e indústrias	37,62	46,25	44,00	45,19	43,00	43,52	48,66	48,43	42,87	43,76	44,64	45,56	46,65	47,72	48,94	50,15	51,38	52,41	53,33
Agropecuária	15,92	18,46	20,57	23,37	23,08	22,81	24,71	24,71	25,06	25,48	25,50	25,43	25,40	25,41	25,39	25,42	25,37	25,34	25,34
Ferro gusa e aço e outras metalúrgicas	6,75	6,99	5,41	5,78	9,82	9,59	9,00	9,58	10,29	11,05	11,77	12,56	13,38	14,21	15,07	15,88	16,74	17,64	18,34
Transporte de passageiros	42,93	36,06	28,15	20,77	21,17	21,83	21,91	21,39	20,84	20,26	19,60	18,91	18,16	17,37	16,54	15,71	14,87	14,04	13,20
Geração de eletricidade	3,35	7,10	11,58	11,42	11,46	9,34	10,09	10,16	10,51	11,06	11,31	11,56	11,88	12,03	12,25	12,41	12,55	12,72	12,87
Transporte de carga	10,53	11,14	9,31	7,19	7,29	7,03	6,96	6,96	7,07	7,15	7,24	7,31	7,38	7,44	7,43	7,41	7,37	7,35	7,33
Total (Energia e PIUP)	685,01	631,77	588,64	587,31	576,38	563,41	569,09	546,72	511,37	482,05	451,54	431,35	410,88	389,66	363,10	351,81	346,38	339,38	332,57
Total (Setor de Energia)	689,30	613,27	572,12	571,19	556,34	543,98	550,21	527,03	490,78	460,47	429,02	407,81	386,25	363,94	336,23	323,87	316,29	309,07	301,36
Total (Setor de PIUP)	15,71	18,51	16,52	16,12	20,04	19,43	18,88	19,69	20,59	21,59	22,52	23,55	24,63	25,72	26,87	27,94	29,09	30,31	31,21

Figura 3.2.2.b. Emissões históricas e projetadas de Energia e PIUP



Em 2035, estima-se, no cenário proposto pelo OC, que as emissões totais desses setores atinjam 333 mil toneladas de CH₄, sendo 37% provenientes das edificações, ainda com a predominância do uso residencial de lenha para cocção, e 24% atribuídos à produção de combustíveis fósseis, sobretudo nas etapas de exploração e refino de petróleo e gás natural. O cenário revela uma trajetória de declínio gradual. Serão detalhados a seguir os resultados dos subsetores de produção de combustíveis e edificações, que concentram as principais fontes de emissões de metano nos setores de Energia e PIUP.

3.2.3. Produção de combustíveis

As emissões de metano associadas à produção de combustíveis têm origem, majoritariamente, nas etapas de exploração, extração e refino de petróleo e gás natural, caracterizadas por vazamentos, perdas operacionais e outras emissões fugitivas ao longo da cadeia produtiva. Além disso, embora em menor escala, também há contribuições provenientes da produção de outros combustíveis, como carvão mineral, carvão vegetal e etanol.

Para a definição das trajetórias futuras dessas emissões, o modelo adotado parte da projeção da demanda interna de combustíveis necessária para abastecer os demais setores da economia, num cenário de transição energética. A partir desse consumo projetado, foram estimadas as emissões correspondentes às atividades de produção e exploração de combustíveis fósseis.

O cálculo da demanda considera, fundamentalmente, as necessidades do mercado interno, assumindo uma redução nas exportações e importações nos próximos anos. Assim, pressupõe-se que a produção nacional estará voltada tão somente para suprir o mercado doméstico, sem contemplar expansão da exploração de petróleo e gás com foco em exportação, o que, por sua vez, contribui para conter o crescimento das emissões fugitivas de metano no setor.

Apesar da projeção de aumento da demanda energética interna impulsionada pelo crescimento econômico e demográfico, o cenário adota premissas que favorecem a redução das emissões de metano. Entre elas estão a priorização de combustíveis com menor intensidade de emissão, a modernização da infraestrutura produtiva e o fortalecimento da capacidade nacional de geração de energia a partir de fontes alternativas, de baixo carbono.

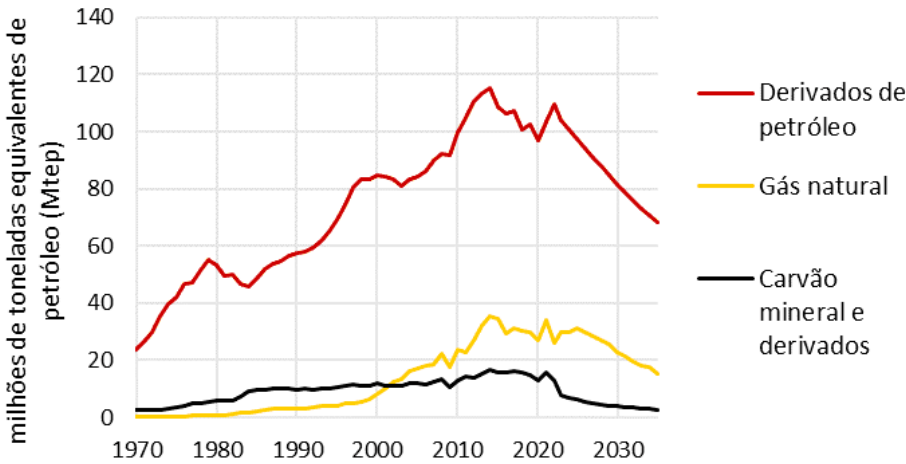
Dessa forma, a estimativa da produção de combustíveis fósseis no cenário modelado resulta diretamente da dinâmica de consumo desses combustíveis, sendo fortemente impactada pelas premissas estabelecidas nos demais setores. Medidas como a transição modal no transporte, o incremento da eficiência energética, a eletrificação de frotas e a substituição progressiva de derivados fósseis por alternativas renováveis influenciam diretamente na redução da necessidade de produção de petróleo e gás, e, consequentemente, na mitigação das emissões fugitivas de metano associadas a essa atividade.

No que se refere aos biocombustíveis, cuja expansão tem papel estratégico no contexto da segurança energética e da descarbonização, a modelagem considera premissas alinhadas à capacidade produtiva nacional e às tendências de evolução da produtividade do setor.

Neste cenário, o modelo aponta para uma redução expressiva na demanda total por petróleo e seus derivados, indicando uma trajetória de queda na produção desses combustíveis e, consequentemente, das emissões associadas ao metano. Estima-se que o consumo total de combustíveis fósseis, incluindo carvão mineral, petróleo, gás natural e seus derivados, deverá apresentar uma redução da ordem de 42% entre 2023 e 2035.



Figura 3.2.3. Histórico (1970 a 2022) e projeção (2023 a 2035) do consumo total de petróleo, gás natural, carvão mineral e derivados



Assim, as emissões de metano provenientes da produção de combustíveis são estimadas em torno de 79,6 kt CH₄ em 2035, um valor 54,5% menor do que as emissões de 2023, ano base para os cálculos. O Quadro abaixo apresenta os resultados alcançados para os demais anos projetados (2024 a 2035).

Quadro 3.2.3. Estimativas históricas (2005, 2010, 2015 e 2020 a 2023) e projeções (2024 a 2035) das emissões, em quilotoneladas de CH₄, da produção de combustíveis

	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Exploração, transporte e refino de petróleo, gás natural e derivados	159,74	142,54	133,42	113,10	86,08	72,09	72,29	71,12	68,00	64,98	62,92	62,43	61,93	61,39	55,17	47,02	43,21	40,30	37,36
Produção de carvão mineral e outros	52,06	42,46	52,96	43,81	46,50	50,06	46,87	23,91	15,94	7,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produção de combustíveis renováveis	26,42	26,90	26,33	27,09	27,09	26,73	26,91	26,62	29,76	30,97	32,18	33,43	34,73	36,06	37,41	38,76	39,92	41,11	42,19
Total (Produção de combustíveis)	237,23	211,91	212,74	184,01	161,67	147,89	146,07	123,65	113,70	103,92	95,10	95,86	96,66	97,44	92,58	85,78	83,13	81,41	79,56

3.2.4. Edificações

As emissões de metano associadas à atividade geral de edificações estão majoritariamente vinculadas ao uso de combustíveis no setor residencial, especialmente para cocção de alimentos e aquecimento, destacando-se o carvão vegetal e o GLP, mas sobretudo a lenha utilizada de forma precária em fogões rudimentares e sem controle de combustão.

Em 2023, o uso residencial de combustíveis foi responsável por 99% das emissões de metano da atividade geral de edificações, somando aproximadamente 298,2 kt CH₄, sendo a maior parcela desse total atribuída às emissões de metano provenientes da combustão incompleta de biomassa, em especial da lenha utilizada na cocção e aquecimento. As emissões derivadas do consumo energético em estabelecimentos comerciais e públicos completam o total do setor, com valores estimados de 3,5 e 0,01 kt CH₄, respectivamente.

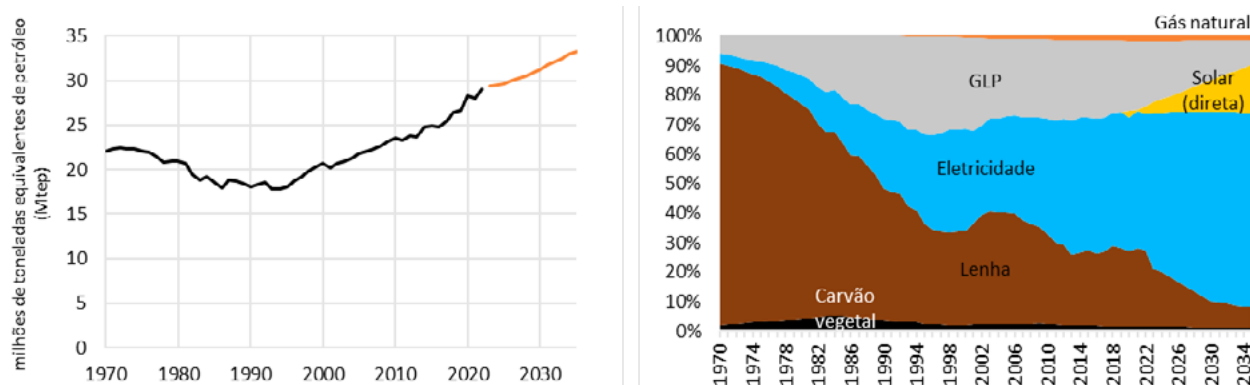
No cenário de futuro proposto, foram adotadas premissas orientadas tanto à redução das emissões de gases de efeito estufa de modo geral quanto, particularmente, ao controle das fontes emissoras de metano. Entre essas medidas, destaca-se a eliminação progressiva do uso de lenha em áreas urbanas até 2030 e a substituição do GLP no setor residencial até 2045. Apesar de uma tendência de redução no uso da lenha até 2013, o cenário recente impulsionado por crises econômicas e aumento da pobreza energética resultou em uma reversão desse comportamento, com aumento do uso desse combustível e, consequentemente, crescimento das emissões de metano.

É importante destacar que, embora a lenha seja uma fonte renovável, quando utilizada de forma precária, sem tecnologias eficientes de combustão, ela se torna uma das principais fontes de metano. Esse padrão de uso não só compromete os esforços de mitigação climática, como também agrava desigualdades sociais, afetando especialmente populações de baixa renda em áreas urbanas e rurais.

O cenário projetado assume que, em um contexto de crescimento econômico e implementação de políticas públicas voltadas tanto para a transição energética quanto para a redução da pobreza energética, deve haver uma queda significativa no uso de biomassa tradicional e de outros combustíveis emissores de metano na categoria residencial. Essa transformação está ancorada na eletrificação progressiva, no aumento do acesso a tecnologias mais limpas e na expansão do uso de sistemas de aquecimento solar, que deverá representar cerca de 20% do consumo energético residencial até 2035.

Esse conjunto de medidas contribui diretamente para a redução das emissões de metano na atividade geral de edificações, além de gerar benefícios colaterais importantes, como melhoria da qualidade do ar, redução de doenças respiratórias associadas à queima de biomassa em ambientes fechados e avanço em direção a uma transição energética justa, que considere não apenas os aspectos ambientais, mas também os sociais e econômicos.

Figura 3.2.4.a. Histórico (1970 a 2022) e projeção (2023 a 2035) do consumo energético residencial e histórico (1970 a 2022) e projeção do perfil do consumo energético residencial (% baseada em tep)



Dessa forma, as emissões de metano na atividade geral de edificações em 2035 foram projetadas em 123 kt CH₄, representando uma redução de mais de 41% dessas emissões.



Figura 3.2.4.b. Histórico (1970 a 2023) e projeção (2024 a 2035) das emissões das edificações

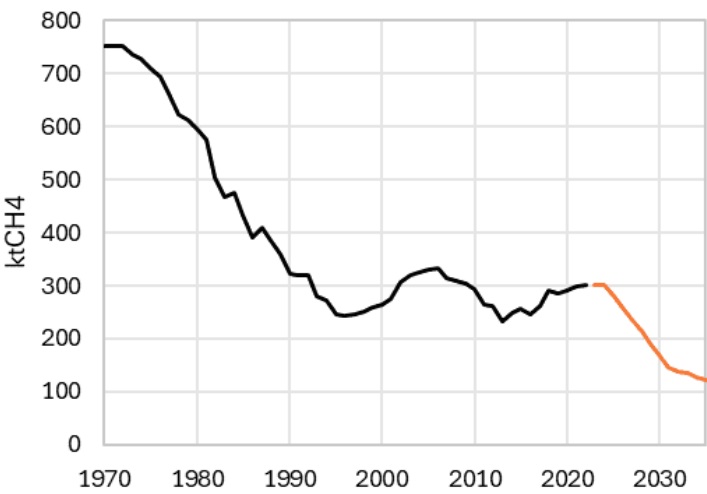
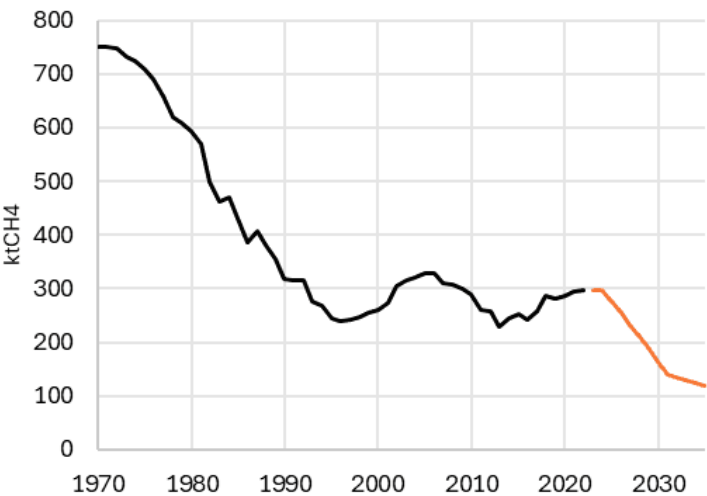


Figura 3.2.4.c. Histórico (1970 a 2023) e projeção (2024 a 2035) das emissões das edificações - residencial



Quadro 3.2.4.. Estimativas históricas (2005, 2010, 2015 e 2020 a 2023) e projeções (2024 a 2035) das emissões, em quilotoneladas de CH₄, em edificações

	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Residencial	327,57	290,07	252,91	286,25	295,41	297,92	298,24	298,24	277,36	255,62	232,55	210,26	187,38	163,98	140,73	134,79	129,60	124,00	118,06
Comercial	3,07	3,77	3,96	3,32	3,46	3,45	3,54	3,59	3,66	3,73	3,81	3,89	3,97	4,06	4,16	4,25	4,35	4,45	4,52
Público	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Total (Edificações)	330,67	293,87	256,88	289,58	298,89	301,39	301,79	301,85	281,02	259,37	236,37	214,16	191,37	168,06	144,91	139,06	133,96	128,47	122,60

3.3. Agropecuária

O setor agropecuário é o maior emissor de metano atualmente e historicamente do país, respondendo por 75,6% das emissões nacionais de metano em 2023, conforme a coleção 12 do SEEG, com a emissão de 15,7 milhões de toneladas de metano (MtCH_4). Foi a maior marca até então atingida, com aumento de 1,1% em relação ao ano de 2022, quando foi emitido 15,5 MtCH_4 . Essa emissão correspondeu a 69,6% da emissão total dos 631,2 MtCO_2e (GWP-AR5), contabilizados para o setor em 2023, o equivalente a 439,6 MtCO_2e . As emissões de metano têm aumentado ao longo dos anos. A comparação entre os anos de 2005 e 2020 mostrou aumento de 1,5%, de 14,3 MtCH_4 para 14,5 MtCH_4 . Já a variação entre os anos de 2005 e 2023 foi de 10,1%.

Neste setor, as emissões de metano são associadas aos seguintes subsetores:

- a. **Fermentação entérica**, com emissões resultantes do processo de digestão realizada por animais ruminantes (o popular “arroto do boi”) e monogástricos;
- b. **Manejo de dejetos animais**, que resulta das emissões dos sistemas de tratamento e disposição final dos dejetos gerados pela produção animal;
- c. **Cultivo de arroz** em regime irrigado (contínuo e com intermitência na irrigação); e
- d. **Queima de resíduos agrícolas**, resultantes principalmente do cultivo de cana-de-açúcar.

Basicamente, as duas categorias relacionadas à pecuária estão associadas a maior representatividade nas emissões deste setor.

3.3.1. Emissões de metano na pecuária

As atividades relacionadas à pecuária são responsáveis pela maior parte do metano emitido pelo setor, respondendo por 97,9% das emissões totais. O subsetor que mais contribuiu, em 2023, para as emissões de metano foi o de Fermentação Entérica, responsável pela maior parcela, 92,2%, o que equivale a 14,5 MtCH_4 . Essa foi a sua maior emissão anual até então, com ênfase para o rebanho de bovinos, que contribuem de maneira significativa. Essa relevância se deve à dimensão do rebanho brasileiro, estimado em 238,6 milhões de animais em 2023 (IBGE, 2024).

Historicamente, a principal fonte de emissão desse subsetor é proveniente do rebanho da bovinocultura de corte, esse rebanho foi responsável pela emissão de 12,7 MtCH_4 , o maior valor da sua série histórica e respondendo por 87,7% das emissões dentro do subsetor de Fermentação Entérica. A segunda maior fonte emissora, o rebanho da bovinocultura de leite, emitiu 1,4 MtCH_4 , com participação de 9,4% nas emissões do subsetor. Assim, os rebanhos de bovinos de corte e leite, juntos, totalizaram 97,1% dessas emissões. Os demais animais emissores por ruminação completam os 2,9% restantes, com uma emissão total de 0,4 MtCH_4 . Já o subsetor de manejo de dejetos, que também está atrelado a mesma população animal e os seus dejetos gerados, foi o segundo maior emissor em 2023. Além da emissão de óxido nitroso (N_2O), o subsetor gerou a emissão de 0,9 MtCH_4 e respondendo por 5,7% das emissões totais do setor de agropecuária.



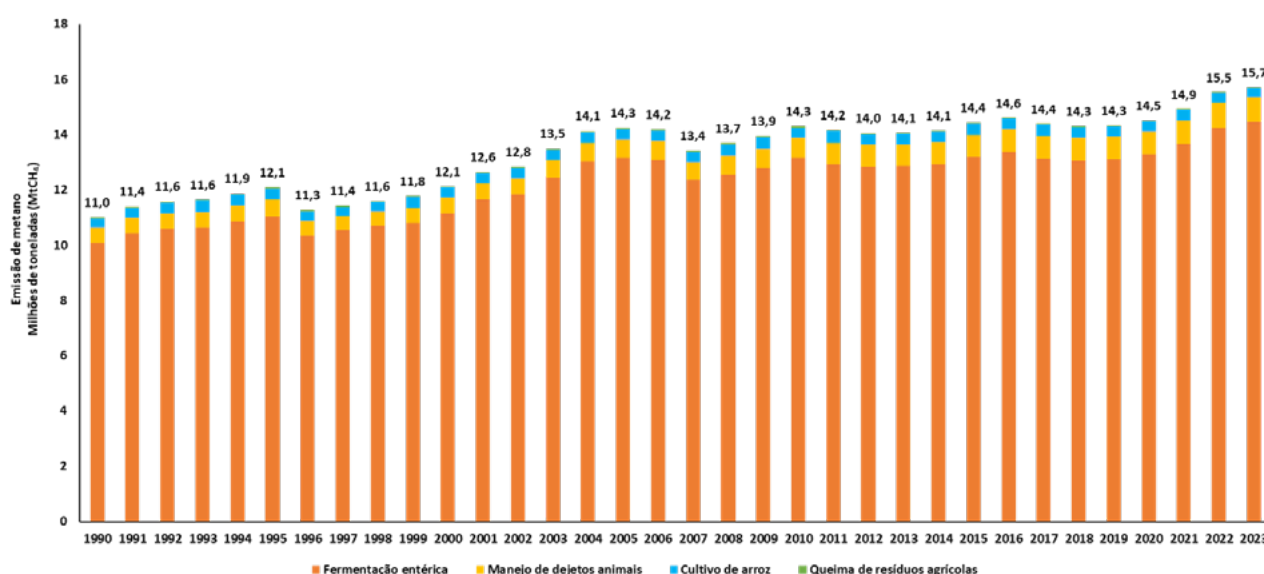
Nesse subsetor, o rebanho de suínos é a principal fonte emissora, tendo emitido 0,4 MtCH₄, o equivalente a 45,1% das emissões do subsetor. Logo em seguida como fontes mais emissoras aparecem os rebanhos bovinos de gado de corte (33,2%) e gado de leite (15,6%), com a emissão de 0,3 e 0,1 MtCH₄, respectivamente. Assim, o rebanho total de bovinos acaba compartilhando a magnitude das emissões resultantes do rebanho de suínos, no qual juntos, totalizaram o equivalente a 93,9% das emissões em 2023. A avicultura aparece com 3,6% de participação, enquanto os demais rebanhos animais respondem por menos de 2,5% restantes.

3.3.2. Emissões de metano na agricultura

Já as atividades relacionadas à agricultura, responderam pelos 2,1% restantes das emissões de metano do setor. O subsetor mais emissor é o de cultivo de arroz irrigado com a emissão de 0,3 MtCH₄, respondendo por 2,1% das emissões do setor. Essas emissões são resultantes da produção de arroz pelo sistema irrigado, o qual gera emissão pela decomposição da matéria orgânica de forma anaeróbica devido ao alagamento do solo no momento do cultivo.

Por fim, o subsetor de queima de resíduos agrícolas respondeu por menos de 0,1% das emissões de metano restantes, tendo como fontes de emissão a queima dos resíduos gerados pelas culturas de cana-de-açúcar e algodão. No caso da cana-de-açúcar, o uso do fogo está principalmente associado às áreas onde ainda ocorre a colheita manual e para o algodão herbáceo, a queima é predominantemente utilizada para o controle de pragas, prática considerada inexistente desde 1995, devido à modernização do setor (MCTI, 2020e). Assim, havendo somente a contribuição da fonte da cultura de cana-de-açúcar, em 2023, o subsetor emitiu aproximadamente 6,5 mil toneladas de metano.

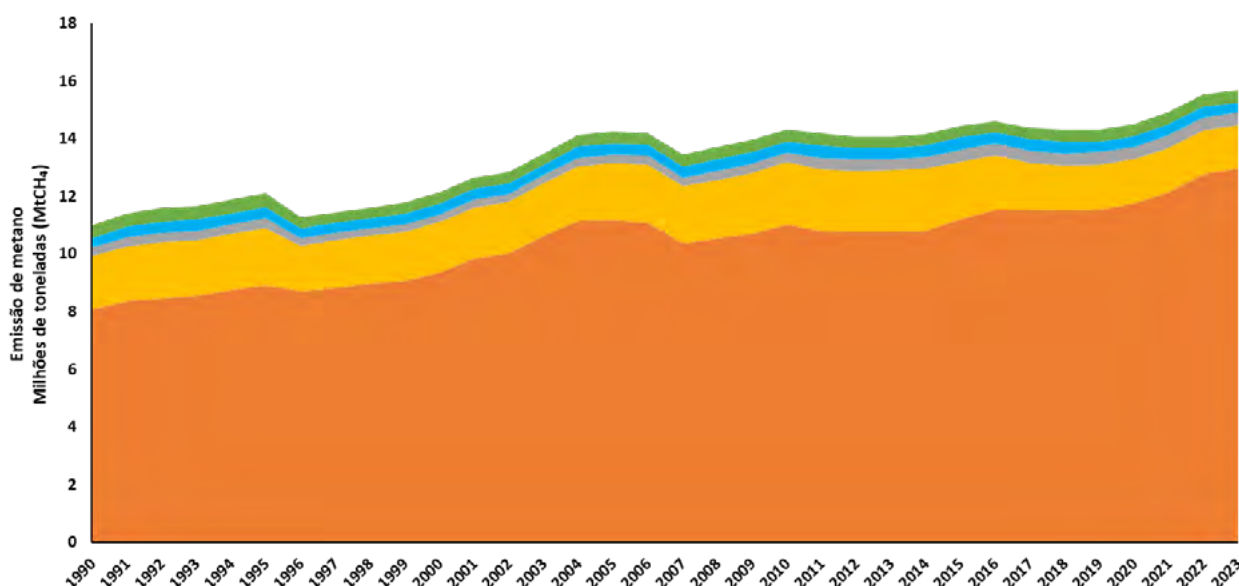
Figura 3.3.2.a. Emissão de metano na agropecuária por subsetor entre 1990 e 2023



Ao analisar as emissões do setor pelas suas fontes, há o predomínio das fontes animais, principalmente o gado de corte (13,0 MtCH₄) e de leite (1,5 MtCH₄), totalizando em 2023 a emissão de 14,5 MtCH₄, o que corresponde a 92,2% das emissões totais de metano na agropecuária. Em relação às demais fontes dos outros setores, essas duas fontes também foram as que mais emitiram, sendo que juntas representaram 69,8% das emissões totais no país de metano em 2023.

Até mesmo as demais fontes da agropecuária ficam bem distantes em relação a produção de bovinos, como visto na terceira fonte mais emissora do setor, os suínos, com a emissão total de 0,4 MtCH₄ e participação de 2,8%. Somente na quarta fonte que a emissão é de origem agrícola, sendo o arroz cultivado em sistema irrigado, com 2,1% do total. As demais fontes representam 2,9% do restante.

Figura 3.3.2.b. Emissão de metano na agropecuária por fonte emissora entre 1990 e 2023



3.3.3. Mitigação das emissões metano da agropecuária

A metodologia empregada para projetar as emissões do setor de agropecuária até o ano de 2035 se baseia, assim como o SEEG, no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de efeito estufa (MCTI, 2020a), o qual utiliza as bases metodológicas e diretrizes para inventários nacionais desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006). Assim, foram projetados os dados de atividade até o ano de 2035. As etapas e descrição das bases de dados e projeções feitas foram detalhadas no documento das [Bases para a 2ª NDC do Brasil 2030-35](#).

Assim, as emissões de metano projetadas no setor resultam de todas as atividades e fontes emissoras relacionadas com a produção pecuária e agrícola do país. Essas emissões foram estimadas de acordo com os cálculos previstos para os subsetores de i) Fermentação Entérica (MCTI, 2020b), com emissões provenientes



do processo de digestão realizado pelos rebanhos de animais ruminantes; ii) Manejo de Dejetos Animais (MCTI, 2020c), resultante do tratamento e disposição que os dejetos animais recebem; iii) Cultivo de Arroz (MCTI, 2020d), referente ao cultivo de arroz sob o regime irrigado, e por último, iv) Queima de Resíduos Agrícolas (MCTI, 2020e), referente à queima dos resíduos agrícolas do cultivo de cana-de-açúcar e algodão.

Para contabilizar a redução de metano foram estimados os potenciais de adoção das práticas de manejo e de tecnologias, considerando os valores associados às fontes emissoras, por intensidade de produto ou área. Ao final, esses potenciais estimados de mitigação foram subtraídos os valores estimados dos resultados das emissões de metano estimados até o ano de 2035. Assim, foram definidas as rotas de mitigação de metano para as atividades de pecuária e agricultura, considerando as principais fontes emissoras de cada subsetor, buscando sempre alinhamento com o método e fatores de emissão provenientes do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de efeito estufa (MCTI, 2020a), assim como de publicações pertinentes da literatura nacional sobre mitigação de metano no setor agropecuário, representando as condicionantes e cenário nacional.

De acordo com as projeções realizadas, há tendência de aumento da produção animal e agrícola, assim como da área da atividade agropecuária, indicando aumento das emissões de metano pelo setor. Embora se espera que seja alcançada maior eficiência da produção das culturas agrícolas e na pecuária, a tendência permanece para o setor agropecuário no Brasil, para esse que é o principal GEE do setor.

A importância na redução de emissões de metano pelo setor, para além das propostas que buscam promover remoções de carbono no solo, geram contribuições essenciais para o cumprimento da NDC Brasileira. O presente exercício estima essa contribuição a partir das rotas possíveis de serem implementadas, considerando as principais práticas de manejo e tecnologias adotadas e possíveis de serem escaladas no contexto nacional.

Inicialmente, foram feitas as propostas para Terminação Intensiva (TI) e Tratamento de Dejetos Animais (TDA), junto com demais ações que resultam na remoção de carbono pelo solo, podendo assim obter a emissão líquida de 210,5 MtCO₂e em 2035. Nesse sentido, considerando a contribuição para a mitigação de metano dessas ações, pode-se obter a contribuição de mitigação de metano de 2,5 MtCH₄ até 2035.

Entretanto, somente essas ações não serão o suficiente para mudar a tendência de aumento das emissões de metano pelo setor. Dessa forma, foram propostas uma série de ações possíveis de serem implementadas a partir do perfil de emissões de metano do setor, considerando suas principais fontes emissoras, assim como o conjunto práticas de manejo e tecnologias para a produção pecuária e agrícola possíveis de serem implementadas.

Assim, foram estimadas as emissões de metano do setor até 2035, contabilizando-se três cenários: i) as emissões tendenciais metano da produção agropecuária, ii) as emissões considerando a redução de metano pelas metas propostas pelas Bases para a 2ª NDC do Brasil 2030-35 e iii) as emissões considerando a redução de metano pelas metas e ações propostas considerando rotas adicionais propostas neste adendo.

Para as emissões tendenciais de metano pela produção agropecuária foram contabilizadas as emissões dos subsetores de fermentação entérica, manejo de dejetos animais, cultivo de arroz irrigado e queima de resíduos agrícolas. Para as emissões de metano considerando a redução resultante das ações propostas de Terminação Intensiva (TI) do gado de corte e Tratamento de Dejetos Animais (TDA) da produção pecuária. Já para as emissões considerando a redução de metano pelas metas e ações propostas considerando as rotas adicionais, foram incluídas as contribuições do Melhoramento e Manipulação da Dieta Animal, Melhoramento Genético Animal (MGA), Abate Precoce de Bovinos de Corte, Manipulação da Fermentação Ruminação, Práticas de Manejo do Solo e Irrigação no Cultivo de Arroz, Eliminação da Queima de Resíduos da Agrícolas, além das ações já abordadas anteriormente de Terminação Intensiva (TI) do gado de corte e a melhoria do manejo do Tratamento de Dejetos Animais (TDA) da produção pecuária, a qual teve adições de ações.

Para a meta proposta para a mitigação de metano, foram contabilizadas as contribuições na mitigação de metano das metas definidas para as áreas com recuperação de pastagem degradadas e bem manejadas (alto vigor) e com sistemas Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), dentro do contexto da ação de Melhoramento e Manipulação da Dieta Animal. O melhor manejo das áreas de pasto contribui para o fornecimento de uma melhor qualidade e quantidade de forragem para os animais criados a pasto, contribuindo com o melhoramento da dieta animal pela otimização da ingestão diária de forma que se atenda a demanda nutricional, resultando em melhor desempenho animal e mitigação de metano (ZUBIETA *et al.*, 2021).

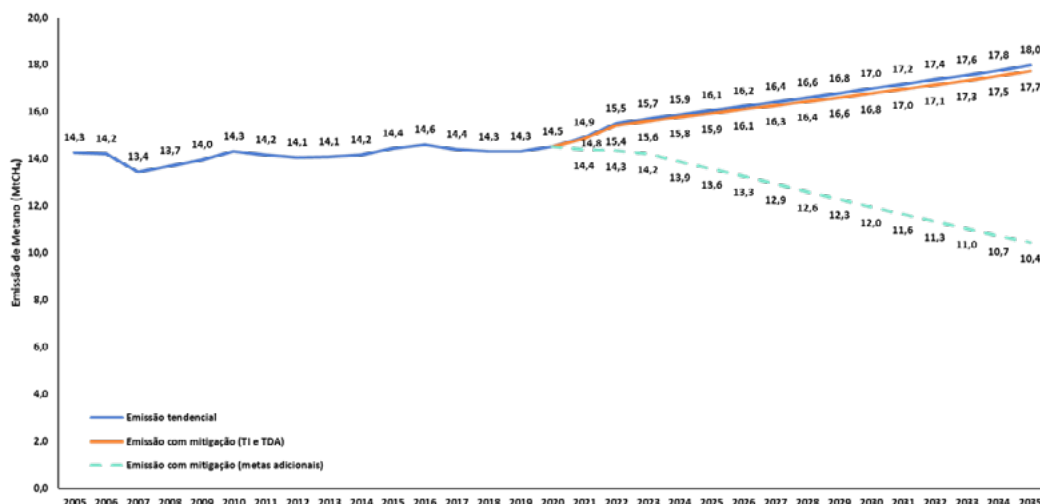
Assim a trajetória estimada para o setor agropecuário até 2035 é de redução de emissão de metano de 28% em relação ao ano de 2020, chegando na emissão de 10,4 MtCH₄ em 2035 (Quadro 3.3.3.a). Essa emissão resulta da soma das emissões tendenciais de metano com a mitigação potencial das rotas propostas. A Figura 3.4.3.a traz a diferença da trajetória das emissões de metano considerando as metas já assumidas de TI e TDA com as adicionais deste adendo.

Quadro 3.3.3.a: Trajetória de emissões, remoções e redução de GEE do setor Agropecuário entre 2020 e 2035

Ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Setor Agropecuário																
MtCH ₄																
Emissão de CH ₄ com mitigação	14,51	14,40	14,35	14,21	13,88	13,57	13,26	12,93	12,61	12,29	11,96	11,65	11,34	11,03	10,73	10,45
Emissão de CH ₄ tendencial - Total	14,51	14,92	15,50	15,70	15,88	16,06	16,24	16,42	16,60	16,79	16,98	17,17	17,36	17,55	17,77	17,98
Fermentação Entérica	13,28	13,66	14,23	14,44	14,63	14,81	15,00	15,19	15,38	15,57	15,76	15,96	16,15	16,35	16,55	16,75
Manejo de Dejetos Animais	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1,01	1,02	1,04	1,06	1,07	1,09
Cultivo de Arroz	0,37	0,38	0,37	0,34	0,32	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,14	0,14
Queima de Resíduos Agrícolas	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Emissão de CH ₄ mitigada - Total	0,00	0,52	1,16	1,50	2,00	2,49	2,98	3,49	4,00	4,50	5,01	5,52	6,02	6,53	7,03	7,54
Melhoramento e Manipulação da Dieta Animal	0,00	0,21	0,44	0,66	0,88	1,09	1,31	1,53	1,74	1,95	2,16	2,36	2,55	2,74	2,92	3,09
Melhoramento Genético Animal	0,00	0,15	0,31	0,47	0,64	0,81	0,98	1,16	1,34	1,53	1,72	1,92	2,12	2,32	2,53	2,74
Abate Precoce	0,00	0,07	0,29	0,22	0,31	0,38	0,47	0,55	0,63	0,72	0,80	0,89	0,98	1,07	1,16	1,25
Tratamento de Dejetos Animais	0,00	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,39
Manipulação da Fermentação Ruminar	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Manejo do Solo e Irrigação no Cultivo de Arroz	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Terminação Intensiva	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Eliminação da Queima dos Resíduos Agrícolas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01



Figura 3.3.3.a: Emissão de metano no setor agropecuário entre 2005 e 2035 pelo cenário tendencial, pelo cenário com redução das ações propostas de TI e TDA e pelo cenário com as novas ações de redução de metano



Assim, considerando a expansão da adoção de sistemas produtivos, práticas e tecnologias resultam na mitigação de metano, e considerando que a expansão da área destinada para a agropecuária ocorrerá sobre as áreas atualmente improdutivas e com indicativos de degradação, sugere-se que para alcançar a redução de 28% das emissões de metano, totalizando uma emissão de 10,4 MtCH₄ os seguintes novos compromissos para o setor:

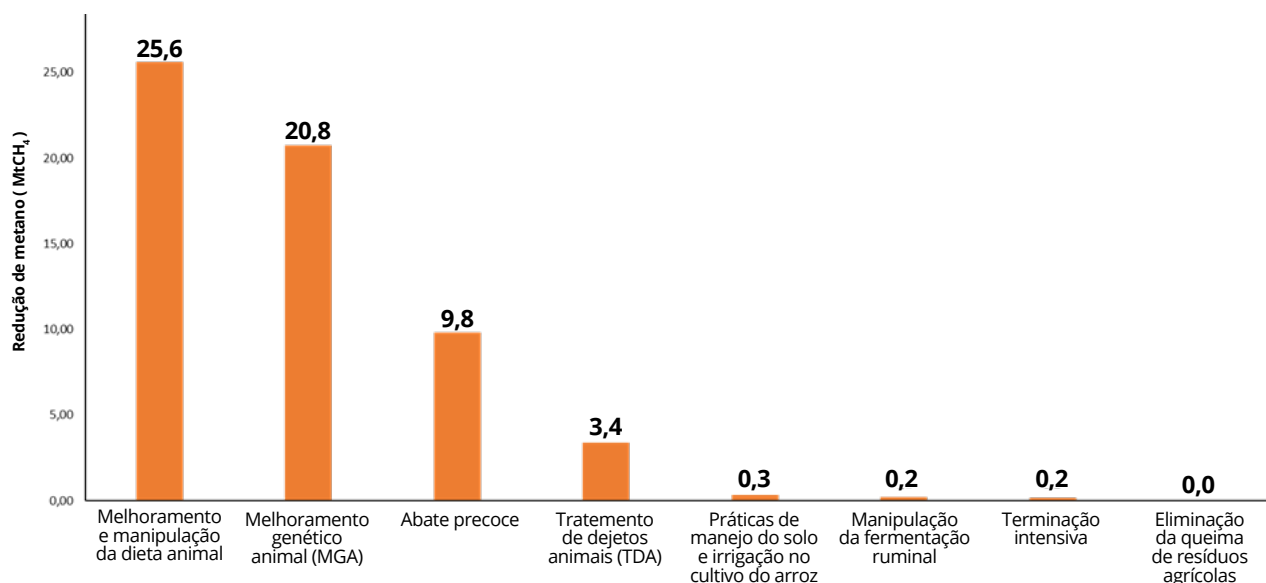
- Realizar do melhoramento da dieta animal pelo melhor manejo das pastagens, via recuperação de pastagens e adoção de sistemas Integrados de Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), junto com aumento de 4,5% ao ano do rebanho bovino de corte e leite com melhor manejo da dieta, alcançando 68% de abrangência para ambos os rebanhos até 2035;
- Promover o melhoramento genético animal (MGA), com seleção de atributos que melhorem a produtividade animal, com aumento de 3% ao ano do rebanho proveniente da adoção MGA para gado de corte e leite, alcançando 45% de abrangência para ambos os rebanhos até 2035;
- Expandir o abate precoce de bovinos para corte, com aumento anual de 5% dos bovinos abatidos com até 30 meses de idade, do rebanho que atualmente se está fora dessa faixa de idade de abate, totalizando 85% dos abates nacionais com até 30 meses em 2035;
- Adotar as práticas e tecnologias voltadas para a manipulação da fermentação ruminal, pela uso de aditivos alimentares, principalmente para as vacas leiteiras de alta produção e gado confinado, com aumento anual 3% de emprego no manejo desses rebanhos, alcançando 45% de abrangência para cada rebanho;
- Expandir as práticas de manejo do cultivo de arroz irrigado, com aumento da área de preparo antecipado (PA) diante a área com preparo convencional (PC) para 80% da área plantada no Rio Grande do Sul, junto com aumento para 30% do manejo da intermitência da irrigação para todos os estados;
- Eliminar a queima de resíduos agrícolas como prática de manejo nas lavouras que ainda realizam, principalmente onde ainda ocorre o da cana-de-açúcar.

Além dos desses novos compromissos, também estão considerados os seguintes compromissos definidos anteriormente, sendo que para o Tratamento de Dejetos Animais (TDA) foram adicionadas ações para bovinocultura de corte e leite:

- O abate de 7,5 milhões de bovinos com Terminação Intensiva (TI), terminados com adoção de confinamento, semi-confinamento e com suplementação, desde que o bem-estar animal e resiliência não sejam comprometidos;
- Para o Tratamento de Dejetos Animais (TDA), alcançar a expansão para 40,5% de uso de biodigestor em relação aos demais sistemas de manejo de dejetos animais, com a conversão total de lagoas anaeróbicas para biodigestores na suinocultura, totalizando a média nacional de 46,4% de adoção de biodigestor. Para a bovinocultura, aumento da participação de piso de confinamento (dry lot) até alcançar a média de 92% de participação para o rebanho de bovinos confinados. Aumento de participação de biodigestor até alcançar a média de 11,5% de participação, substituindo lagoas anaeróbicas para vacas leiteiras de alta produção. E para as vacas leiteiras de baixa produção, realizar a conversão total do sistema de armazenamento sólido para compostagem.

Assim, considerando os compromissos adicionais junto com os já propostos anteriormente, esse conjunto estratégias podem alcançar a mitigação potencial máximo de 60,3 MtCH₄ até 2035. Destaca-se o efeito sinérgico entre essas práticas de manejo e tecnologias possíveis de serem empregadas no campo, considerando sempre a mais viável e adequada de ser implementada de acordo com o porte do produtor e sua capacidade de adoção. Além disso, o valor estimado representa uma capacidade potencial de redução de metano, visto que as diversas estratégias mencionadas podem ocorrer de forma única ou simultânea, principalmente na produção animal. A Figura 3.4.3.b traz o potencial de mitigação de metano de cada um dos compromissos.

Figura 3.3.3.b: Potencial de mitigação de metano pelos compromissos propostos para o setor agropecuário entre 2020 e 2035





De modo geral, essas ações lidam com desafios de monitoramento, reporte e verificação (MRV) da sua implementação, sendo fundamental a estruturação de bases de dados e sistemas que busquem qualificar e quantificar a escala, abrangência, adoção e impacto em mitigação dessas ações pelos diversos tipos de sistemas produtivos existentes, assim como os ganhos em produtividade e na eficiência ambiental ao serem utilizados. O Quadro 3.3.3.b traz os parâmetros utilizados nas estimativas, assim como as fontes de dados em que foram baseadas.

Quadro 3.3.3.b: Descrição das ações definidas nos compromissos para mitigação de metano pelo setor Agropecuário até 2035

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	TRATAMENTO DE DEJETOS ANIMAIS (TDA)
Meta da Ação até 2035	Bovinos de Corte: abate de 7,5 milhões de animais
Referência (Dado de Atividade)	PPM/IBGE (2023) PTAA/IBGE (2024)
Potencial de Mitigação de Metano	33,1% de redução por kgCH_4/kg de carcaça ¹
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	Cardoso <i>et al.</i> , (2016)

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	TRATAMENTO DE DEJETOS ANIMAIS (TDA)
Meta da Ação até 2035	Suínos Industriais: aumento para 40,5% de uso de biodigestor, com a conversão total de lagoas anaeróbicas para biodigestores Bovinos de corte (confinados): aumento da participação do sistema de Piso de Confinamento (Dry Lot) até alcançar média de 92% de participação no tratamento, ao substituir o sistema de Armazenamento Sólido Bovinos de leite (alta produção): aumento da participação do sistema de Biodigestor até alcançar média de 11,5% de participação no tratamento, ao substituir o sistema de Lagoa Anaeróbica Bovinos de leite (baixa produção): conversão total (100%) do sistema de Armazenamento Sólido para Compostagem
Referência (Dado de Atividade)	MAPA (2021) MCTI (2020c)
Potencial de Mitigação de Metano	Considerando o aumento da participação relativa de biodigestores, compostagem e piso de confinamento, resultando na redução de $3,4 \text{ MtCH}_4^*$
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	IPCC (2006) MCTI (2020c)

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	MELHORAMENTO E MANIPULAÇÃO DA DIETA ANIMAL
Meta da Ação até 2035	Pastagens Recuperadas: promoção de melhor dieta para o rebanho de corte e leite em 22,5 Mha de pastos recuperados² Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: promoção de melhor dieta para o rebanho de corte e leite em 18 Mha de pastos recuperados² Bovinos de Corte e Leite: rebanho restante com aumento anual de 4,5% de cada rebanho produzido com melhor dieta (68% até 2035)
Referência (Dado de Atividade)	MapBiomass Col.8 (2023) MCTI (2020b) Polidoro <i>et al.</i>, (2020) Rede ILPF (2020)
Potencial de Mitigação de Metano	Pastagens Recuperadas: considerando o rebanho com melhor manejo alimentar resultando na redução de 2,7 MtCH₄*[*] Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: considerando o rebanho com melhor manejo alimentar resultando na redução de 4,5 MtCH₄*[*] Bovinos de Corte: 31,6% de redução por gCH₄/kg de carcaça Bovinos de Leite: 13,1 % de redução por gCH₄/kg de leite
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	Cardoso <i>et al.</i>, (2016) Congio <i>et al.</i> (2021)

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	MELHORAMENTO GENÉTICO ANIMAL (MGA)
Meta da Ação até 2035	Bovinos de Corte e Leite: aumento anual 3% de para cada rebanho produzido com MGA (45% até 2035)
Referência (Dado de Atividade)	PPM/IBGE (2023) PTAA/IBGE (2024)
Potencial de Mitigação de Metano	Bovinos de Corte: 10,8% de redução por gCH₄/kg de carcaça Bovinos de Leite: 37,6% de redução por gCH₄/kg de leite
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	Congio <i>et al.</i> (2021) Maciel <i>et al.</i> (2019)

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	ABATE PRECOCE
Meta da Ação até 2035	Bovinos de Corte: aumento anual de 5% de abates até 30 meses (75% até 2035)
Referência (Dado de Atividade)	AGROSTAT (2025) CONAB (2025) PPM/IBGE (2023) PTAA/IBGE (2024)
Potencial de Mitigação de Metano	Considerando a emissão média nacional de um bovino abatido de 4,9 kgCH ₄ /mês/animal e a diferença de tempo de abate entre 30 e 43 meses
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	IPCC (2006) Gomes <i>et al.</i> (2023) MCTI (2020b) MCTI (2020c)



ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	MANIPULAÇÃO DA FERMENTAÇÃO RUMINAL
Meta da Ação até 2035	Bovinos de Corte (confinados) e de Leite (alta produção): aumento anual de 3% para cada rebanho produzido com manipulação da fermentação ruminal (45% até 2035)
Referência (Dado de Atividade)	PPM/IBGE (2023) PTAA/IBGE (2024)
Potencial de Mitigação de Metano	Bovinos de Corte e Leite: redução de emissão de metano diário (g CH ₄ /dia) de 35%
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	Arndt <i>et al.</i> (2021)

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO E IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE ARROZ
Meta da Ação até 2035	Rio Grande do Sul (RS): Conversão de 80% da área produtiva com preparo convencional (PC) para preparo antecipado (PA) RS e Demais UF: Adoção anual de 2% de manejo da irrigação (30% até 2035)
Referência (Dado de Atividade)	IRGA (2023) Embrapa Arroz e Feijão (2023) PAM/IBGE (2023)
Potencial de Mitigação de Metano	Rio Grande do Sul (RS): redução de 22% na emissão de CH ₄ por hectare na mudança de PC para PA RS e Demais UF: redução média de 44,3% na emissão de CH ₄ por hectare pela adoção de regimes de irrigação intermitentes em relação a irrigação contínua
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	Camargo (2015) MCTI (2020d) Zschornack (2011)

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO	ELIMINAÇÃO DA QUEIMA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS
Meta da Ação até 2035	Eliminação da prática manual de colheita com uso de queima dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar
Referência (Dado de Atividade)	CONAB (2024) PAM/IBGE (2023)
Potencial de Mitigação de Metano	Aumento da porcentagem de colheita mecanizada e/ou sem uso de fogo até 100% para cada estado resultando na redução de 39,0 mil toneladas de CH ₄ *
Referência (Potencial de Mitigação de Metano)	MCTI (2020e)

¹ Considerando a porcentagem de redução de emissões de GEE pela realização de TI no rebanho de gado de corte abatido em comparação com os que não recebem TI, referente ao período mais final do ciclo completo (cria, cria e engorda). ² Exceção o rebanho de bovinos confinados. * É a mitigação total acumulada esperada em milhões de toneladas de CH₄ para ação específica.

3.3.3.1 Terminação Intensiva (TI)

A mitigação promovida pela Terminação Intensiva (TI) é alcançada por meio de um manejo alimentar intensificado, que fornece mais energia aos bovinos de corte durante as fases de recria e engorda. Pode-se estimar uma redução de até 33,1% na emissão de kgCH_4/kg de carcaça, quando se compara a parcela de emissão de metano da intensidade de emissão por carcaça entre sistemas menos produtivos com a mitigação média por carcaça dos sistemas que empregam TI, com base em dados de Cardoso *et al.*, (2016). Ao final, estimou-se o potencial de mitigação de metano de 0,2 MtCH_4 até 2035.

3.3.3.2 Tratamento de Dejetos Animais (TDA)

O tratamento de dejetos animais (TDA) é a etapa que inclui coleta, armazenamento, tratamento e uso agrícola dos subprodutos. Além do óxido nitroso (N_2O), também mitiga metano, utilizando tecnologias como biodigestão e compostagem, que reduzem a conversão da matéria orgânica em metano.

Assim, a substituição de sistemas de manejo de dejetos por outros mais eficientes resulta na mitigação. Para a cadeia da suinocultura, estima-se uma redução de 2,4 MtCH_4 até 2035, a partir da expansão do uso de biodigestores em detrimento à parcela de Liquid/Slurry até 2035, alcançado a expansão de 40,5% para a média nacional dos dejetos tratados por esse sistema.

Também foram consideradas ações adicionais para a bovinocultura de corte e leite. Para o rebanho de bovinos confinados, proporem-se o aumento da participação de piso de confinamento (Dry Lot) até alcançar a média de 92% de participação, ao substituir o sistema de armazenamento sólido, com a redução estimada de 0,2 MtCH_4 até 2035.

Para as vacas leiteiras de alta produção, aumentar a participação de biodigestor até alcançar a média de 11,5% de participação, substituindo lagoas anaeróbicas. E para as vacas leiteiras de baixa produção, realizar a conversão total do sistema de armazenamento sólido para compostagem. Assim, estima-se a redução de 0,9 MtCH_4 até 2035.

3.3.3.3 Melhoramento e Manipulação da Dieta Animal

Cerca de 2% a 12% da energia bruta consumida pelos animais ruminantes acaba não sendo aproveitada, por causa da sua conversão em metano. Isso está atrelado ao tipo de dieta adotada na produção animal, influenciado pelo nível de digestibilidade dos alimentos ingeridos e a quantidade de carboidrato, que são fermentados, assim como a quantidade de gás hidrogênio (H_2) gerada no rúmen que é usado pelas bactérias metanogênicas como fonte de energia, gerando a emissão de metano pelo processo de fermentação entérica. A geração desse metano pelo processo de digestão representa uma perda de energia e recursos dos sistemas produtivos animais em forma de metano (Machado *et al.*, 2011). A melhor conversão dos alimentos em energia e menos emissão de metano também está associado a características genéticas dos



animais, além do fornecimento da quantidade e qualidade de uma dieta animal, que leve em consideração o tipo de carboidrato disponibilizado, a digestibilidade e demais formas de manejo que otimizem a nutrição (Sene *et al.*, 2019).

Assim, para ação foram consideradas as metas propostas de recuperação de 22,5 Mha de pastagens degradadas (PRPD) e a expansão adicional de 18 Mha de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), totalizando uma área de 40,5 Mha em que os animais resultantes dessas áreas passarão a receber uma melhor manejo nutricional pela sua dieta com pastos com melhor vigor, com maior e melhor capacidade de suporte. Para os animais resultantes dessa área, com melhor manejo das pastagens e manejo nutricional, foram considerados os potenciais de redução de metano anual por tipo de categoria animal, a partir de níveis de intensificação via melhor manejo das pastagens, por categoria animal considerando as vacas leiteiras e o gado de corte, com exceção do rebanho confinado. Foi considerado o aumento da taxa de lotação animal de 1,3 animais/ha em 2020 até 2,2 animais/ha em 2035 (CARDOSO *et al.*, 2016). Assim, foram obtidas as seguintes potenciais de redução de metano, conforme a Quadro 3.3.3.3 abaixo.

Quadro 3.3.3.3: Estimativa de redução de emissão de metano por categoria de bovinos estimado para o rebanho proveniente da área de PRPD e ILPF

CATEGORIA DE REBANHO BOVINOS		PRPD	ILPF
		Porcentagem de redução de kgCH_4/ano	
Bovinos de Corte	Touros (acima de 2 anos)	-22,8%	-33,7%
	Bezerros (até 1 ano)	-0,5%	-16,2%
	Jovens (entre 1 e 2 anos)	-27,1%	-40,3%
	Machos e fêmeas (acima de 2 anos)	-8,6%	-23,9%
Vacas leiteiras	Alta e Baixa Produção	-19,6%	-31,0%

Fonte: a partir de Cardoso *et al.* (2016).

Ao final, para PRPD e ILPF, estimou-se o potencial de mitigação total de 7,2 MtCH_4 até 2035, sendo 2,7 MtCH_4 resultante de PRPD e 4,5 MtCH_4 de ILPF.

Para o restante do rebanho bovino, estimou-se a melhoria na prática de alimentação animal, considerando possíveis opções como o manejo da pastagem com lotação contínua e rotativa, o fornecimento de alimento com aumento de proteína, o uso de concentrados a base de semente de algodão, o aumento de lipídeos na dieta e pelo aumento do nível da alimentação. Esse conjunto de ações resulta nos valores médios de redução de metano de 31,6% considerando gCH_4/kg massa ganha para gado de corte e de 13,9% para gCH_4/kg de leite para vacas leiteiras (CONGIO *et al.*, 2021). Para essa parte estimou-se o potencial de mitigação de 18,4 MtCH_4 até 2035, considerando a expansão anual de 4,5% do total do rebanho de gado de corte e vacas leiteiras com adoção dessas práticas.

3.3.3.4. *Melhoramento Genético Animal (MGA)*

A redução da emissão de metano ocorre pela promoção do melhoramento genético, a partir do cruzamento de animais com características desejadas, resultante da seleção genética. Com isso, espera-se a melhoria do desempenho animal por meio da seleção de traços que estão direta e indiretamente relacionados com menores níveis de emissão de metano por rendimento animal. Essa seleção busca conciliar o aumento de produtividade, com a redução da intensidade das emissões dos produtos como carne e leite, possuindo animais mais eficientes e adaptados (PICKERING *et al.*, 2015; PINTO, 2019).

As características relacionadas com as emissões de metano e produtividade animal são atributos hereditários e reproduzíveis, podendo ser escolhidos por meio da seleção genética, visto que alguns animais tenham intrinsecamente emissões de metano menores quando comparados os indicadores de desempenho zootécnicos e produtivos, por exemplo a ingestão de alimento, produção de carcaça e leite, respectivamente (LASCANO *et al.*, 2010; PICKERING *et al.*, 2015).

Exemplo disso é a seleção de animais que apresentam baixa emissão de metano devido ao melhor aproveitamento do alimento ingerido, com maior eficiência no ganho de massa, além da menor emissão gerada após o consumo de sua alimentação, considerado o tipo de dieta que possuem, digestibilidade e demais características dos animais (LASCANO *et al.*, 2010). Entre as técnicas utilizadas para a promoção desses atributos, considera-se a utilização de diversas raças de rebanhos, em que ocorre a reprodução seletiva considerando as raças de bovinos que atendam melhor às condições demandas pelos sistemas produtivos, juntamente com a otimização do uso demais recursos utilizados, como as rações e aditivos alimentares (PINTO, 2019).

Para estimar o potencial de mitigação por essa ação foi considerada a métrica de emissão por produto animal (leite e carne). Dessa forma, foi considerada a redução de metano para gado leiteiro de 37,6%, considerando a intensidade de emissão de metano por produção de leite (gCH_4/kg de leite), segundo Congio *et al.* (2021). Já para o gado de corte, foi utilizada a porcentagem de redução de 10,8%, para a intensidade de emissão de metano por produção de carne (gCH_4/kg de carne), de acordo com Maciel *et al.* (2019). Foi estimado o potencial de mitigação de 20,8 MtCH_4 até 2035, considerando a expansão anual de 3,0% do total do rebanho de gado de corte e vacas leiteiras com promoção de MGA.

3.3.3.5. *Abate Precoce*

O abate precoce é uma importante forma de mitigação de metano devido a redução da idade de abate de bovinos de corte, de forma que o peso de abate seja alcançado o quanto antes e assim evitando emissões de metano pela maior permanência dos animais nas pastagens Gomes *et al.* (2023). Um exemplo dessa prática que resulta em animais de ciclo encurtado é o “Boi China”, em que o rebanho abatido para exportação de carne para a China deva atender o tempo de abate de até 30 meses, idade que evita e facilita o controle sanitário de doenças como febre aftosa, tuberculose e brucelose. Assim, promover a mudança do perfil de idade de abate dos animais na pecuária brasileira é uma importante estratégia de mitigação,



ao conciliar com aumento da produtividade e eficiência dos sistemas produtivos para alcançar esse nível de produção.

Para o cálculo do potencial de mitigação pela promoção do abate precoce foi considerado o rebanho bovino abatido com potencial de redução de idade de abate, considerando as emissões de metano por animal por mês ($\text{kgCH}_4/\text{animal/mês}$) por fermentação entérica e manejo de dejetos. Também foi considerada a diferença de emissões entre animais abatidos com 30 meses e com a média de idade de 43 meses, estimado seguindo o cálculo da estimativa proposta por Gomes *et al.* (2023). Assim, descontando o rebanho que já é abatido abaixo de 24 meses sendo a Pesquisa Trimestral de Abates Animais (PTAA) do IBGE, junto com a parcela tendencial dos abates que já resultam na exportação de carne provenientes de animais abatidos até 30 meses, pode-se obter o rebanho potencial para adoção do abate precoce, sendo o que rebanho que o encurtamento do ciclo do abate resultará em uma mitigação adicional de metano. Dessa forma, foi estimado o potencial de mitigação de 9,8 MtCH_4 até 2035, considerando a expansão anual de 5,0% do total do rebanho de gado de corte que será abatido até 30 meses.

3.3.3.6. Manipulação da Fermentação Ruminal

A manipulação da fermentação ruminal contribui com a mitigação por meio da interferência na atividade do rúmen, interferindo no H_2 pela redução da sua geração, na supressão do já produzido e alterando a atividade microbiana das Archaeae metanogênicas, pela inibição ou redução (defaunação) da sua quantidade no rúmen, buscando otimizar o metabolismo animal, promovendo melhor conversão de alimento em energia, aproveitamento dos nutrientes e melhor desempenho animal (MACHADO *et al.*, 2011).

Entre os vários tipos de aditivos, um aditivo alimentar que demonstrou potencial de redução da emissão de metano entérico foi o 3-nitrooxipropanol (3-NOP), que apresentou uma redução de cerca de 30,0% das emissões provenientes de gado leiteiro e de corte. Apesar disso, o seu uso ainda não é amplamente difundido, demandando a necessidade da elaboração de todo um arcabouço regulatório para sua aprovação, incentivo e utilização pela produção pecuária (HRISTOV *et al.*, 2015; ROMERO-PEREZ *et al.*, 2015).

Para estimar o potencial de mitigação pelo uso de aditivos, foram considerados somente os rebanhos de bovinos confinados e de vacas leiteiras de alta produção, devido a maior possibilidade, viabilidade e controle de uso dessa estratégia de mitigação. Assim foi utilizado o valor apresentado por ARNDT *et al.* (2021), que traz o valor de redução de emissão de metano diário (gCH_4/dia) de 35,0%. Ao final, foi estimado o potencial de mitigação de 0,2 MtCH_4 até 2035, considerando a expansão anual de 3% do total do rebanho de gado de corte confinado e vacas leiteiras de alta produção com manipulação da fermentação ruminal.

3.3.3.7. Práticas de Manejo do Solo e Irrigação no Cultivo de Arroz

A mitigação da emissão de metano no cultivo de arroz irrigado está baseada na adoção de melhores práticas de manejo do solo em seu cultivo e do regime de irrigação, principalmente no estado de Rio Grande

do Sul, (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2023; IRGA, 2023). No Rio Grande do Sul ocorre a realização de diferentes tipos de sistemas de preparo do solo, classificados entre o sistema de preparo convencional (PC), sistema de preparo antecipado (PA) e outros sistemas. No sistema de preparo antecipado são utilizadas práticas mais conservacionistas do solo, como o cultivo mínimo e principalmente o plantio direto, antes da semeadura do arroz.

A mudança de PC para PA do solo resulta em redução das emissões de metano, pois enquanto no sistema convencional ocorrem operações de revolvimento do solo antes da semeadura do arroz e a permanência da matéria orgânica vegetal que será decomposta anaerobicamente por se produzir sob sistema irrigação contínua, no preparo antecipado as operações ocorrem em períodos em que o solo está drenado, promovendo a decomposição aeróbica desses resíduos, reduzindo as emissões de metano. Esse preparo antecipado contribui para reduzir atrasos no plantio e perdas de produtividade, sendo iniciado logo após a colheita da safra, gerando ganhos em termos de emissão e aumentando a produtividade. Essa alteração no tipo de preparo gera um potencial de redução de metano em torno de 22% por área plantada (MCTI, 2020d). Já o manejo da água nos sistemas produtivos de regime irrigado ocorre através da drenagem da lâmina de água dos solos continuamente alagados no regime irrigado, sem gerar perdas de produtividade. Assim, regimes de irrigação intermitente geram taxas de emissão de metano menores do que os de irrigação contínua, por gerar um ambiente de decomposição menos anaeróbico, pelo fato de ser realizada a drenagem. Se baseando em Zschornack (2011) e Camargo (2015), que obtiveram, respectivamente, reduções da taxa de emissão de 40,8% e de 47,8% por área, utilizou-se o valor médio de 44,3%. Ao final, foi estimado o potencial de mitigação de 0,3 MtCH₄ até 2035, considerando a conversão para 80% da área com preparo antecipado no Rio Grande do Sul, junto com a adoção de práticas de regime da irrigação para 30% da área total do país de arroz irrigado.

3.3.3.8. Eliminação da Queima dos Resíduos Agrícolas

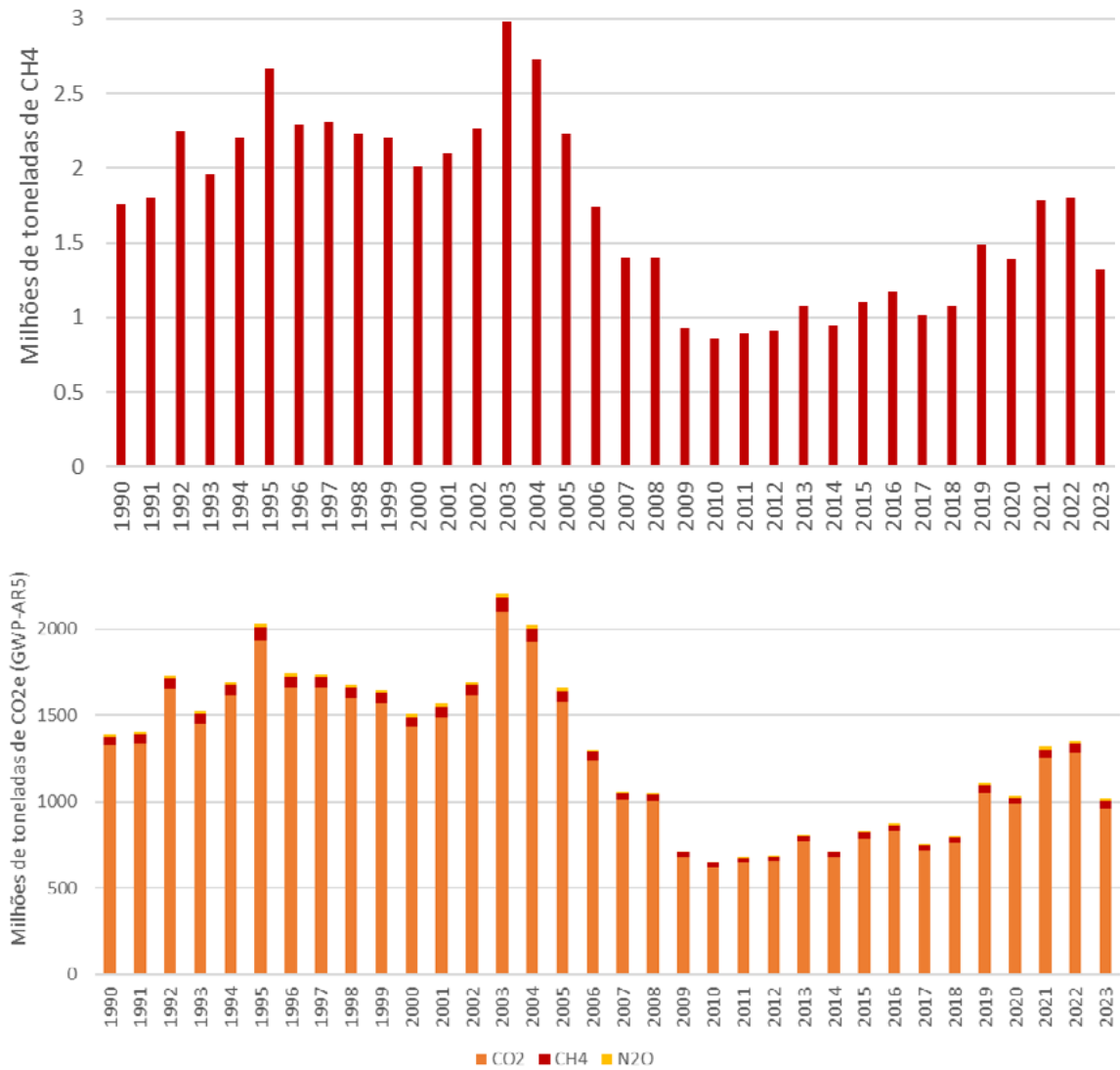
A redução da queima de resíduos agrícolas da cana-de-açúcar está relacionada com a expansão da área colhida de forma mecanizada, substituindo a colheita manual, junto com o não uso do fogo como prática de manejo nas áreas em que o maquinário não é possível de acessar algum tipo de relevo. A queima dos resíduos da cana-de-açúcar ainda é uma prática utilizada para a pré-colheita, facilitando a limpeza das lavouras e a realização das colheitas. Com o emprego da colheita mecanizada, pode-se eliminar totalmente as emissões associadas a essa etapa da produção agrícola (MCTI, 2020e). Para essa estratégia foi proposta a eliminação total das queimadas dos resíduos da cana-de-açúcar até 2035, considerando a porcentagem de cada estado de área plantada que ainda apresenta essa prática. Ao final, estima-se uma mitigação de 39,0 mil toneladas de CH₄.



3.4. Mudanças de Uso da Terra e Florestas

A principal fonte de emissões de gás metano no setor Mudanças de Uso da Terra e Florestas é a queimada de resíduos florestais. Esse processo, relacionado ao uso do fogo para remover resíduos que sobram em uma área após o corte raso da vegetação nativa, acompanha os padrões de tendências do desmatamento no país. Na última década (2014-2023), essas queimadas emitiram 13 milhões de toneladas de metano e isso representou cerca de 4% das emissões totais por desmatamento em CO₂ equivalente (SEEG Coleção 12, 2024; Figura 3.4.a).

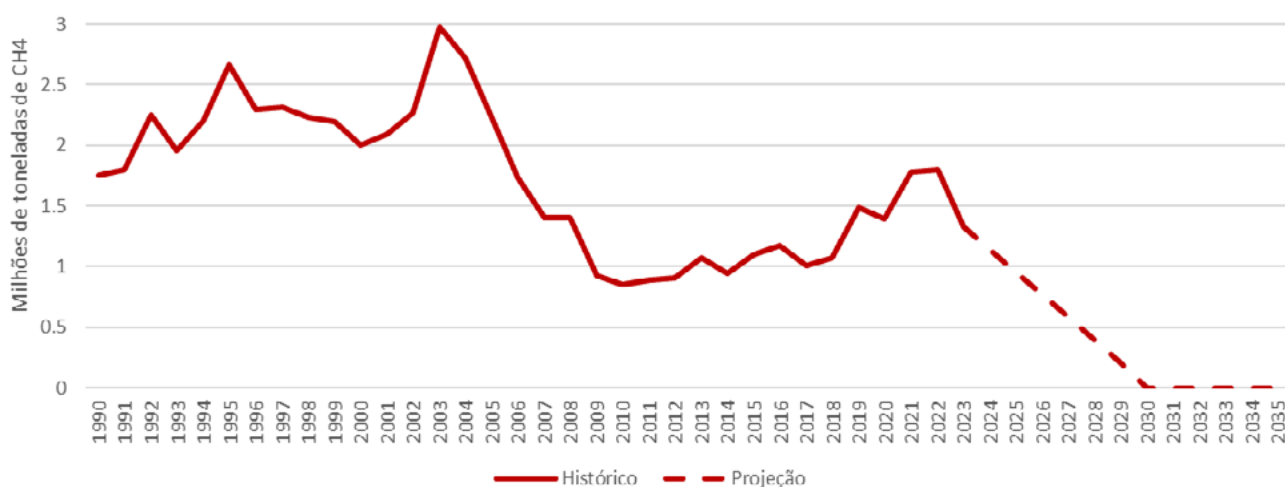
Figura 3.4.a. Histórico das emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) no Brasil pelo processo de queima de resíduos florestais, em CO₂ equivalente



Fonte: SEEG Coleção 12 (2024).

A NDC proposta pelo OC trouxe como principal meta de mitigação do setor a eliminação do desmatamento no Brasil até um nível residual de 1.000 km² anuais. E nota-se que esse desmatamento residual está previsto, no cenário de mitigação, para ser destinado a outras classes de uso da terra que não áreas de agropecuária, que é onde se observa a prática de “limpeza de área” mediante o uso do fogo. Dessa forma, as emissões de metano no setor MUT deverão acompanhar a redução do desmatamento até 2035, até a total eliminação desse processo (Figura 3.5.b).

Figura 3.4.b. Histórico e projeções de emissões relacionadas às queimadas de resíduos florestais



A implementação desse cenário de mitigação deverá se basear nas medidas de combate ao desmatamento e à degradação, combate e controle das situações de incêndio e queimadas nos biomas, expansão das áreas protegidas e das áreas de regeneração vegetal. Como medidas prioritárias para o atingimento desta meta e conter o desmatamento no país, ressaltam-se:

- A regularização fundiária em 100% das propriedades rurais, com base na inscrição e na validação do Cadastro Ambiental Rural de todos os imóveis rurais privados no país;
- Incentivos econômicos à manutenção da vegetação nativa, seja em benefícios tributários/fiscais ou de ordem econômica via recursos externos (fundos, linhas de crédito ou negociação de ativos, por exemplo);
- As demarcações de terras indígenas, bem como a total desintrusão dessas áreas, e o reconhecimento e a titulação de territórios quilombolas e de comunidades tradicionais;
- Criação de novas Unidades de Conservação, e elaboração dos planos de manejo de todas as UCs, com o embargo de 100% das áreas desmatadas ilegalmente dentro dos seus limites e de suas zonas de amortecimento, em cumprimento ao SNUC e legislação correlata;
- A destinação de 100% das terras públicas federais de todos os biomas que ainda não foram destinadas.



3.5. Resíduos

O setor de resíduos abrange as emissões de GEE oriundas dos serviços de saneamento relacionadas exclusivamente com o tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos. De acordo com as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as emissões do setor são desagregadas em: disposição final de resíduos sólidos, incineração e queima a céu aberto, tratamento biológico e o tratamento e afastamento de efluentes líquidos domésticos e industriais. Essa mesma divisão foi base da construção do cenário, visto que também são as classificações dos subsetores do setor de resíduos da metodologia e resultados da coleção 12 do SEEG.

A disposição final de resíduos sólidos municipais produz quantidades significativas de metano (CH_4) por meio da decomposição da fração orgânica em condições anaeróbias pela ação de bactérias. A estimativa do potencial de geração de CH_4 dos resíduos sólidos é feita a partir da análise da composição gravimétrica, do tipo de gestão adotada nos locais de disposição final – lixões, aterros controlados ou aterros sanitários – dos índices de precipitação, temperatura e da quantidade de material encaminhada para cada tipo de destino. A decomposição dos resíduos pode ocorrer pelo modo aeróbio ou pelo anaeróbio (metanogênica). A decomposição aeróbica ocorre na fase inicial da deposição do resíduo no solo, momento em que ainda há oxigênio disponível. Posteriormente, com a redução do oxigênio presente nos resíduos, instaura-se a fase da decomposição anaeróbia, durante a qual ocorre a formação do biogás, rico em metano e dióxido de carbono.

A incineração é um processo termoquímico considerado como uma alternativa tecnológica para o tratamento intermediário de resíduos. Esse processo consiste na combustão completa de resíduos sólidos e líquidos em ambientes controlados, promovendo a redução volumétrica e de características de periculosidade. Visto que a incineração emite majoritariamente CO_2 e N_2O , na presente análise, o subsetor “incineração ou queima a céu aberto” se abrevia à emissão de queima a céu aberto, subseqüentemente descrita.

A queima a céu aberto é referente a uma parcela do montante total gerado de resíduos sólidos que é destinada à queima não controlada. Essa prática é adotada pela fração da população que não tem acesso ao sistema de coleta de resíduos sólidos municipais, ocorrendo de forma mais frequente em áreas rurais do que em áreas urbanas. Foram estimadas emissões de CH_4 decorrentes do processo de combustão ao ar livre ou em lixões abertos, no qual o metano é lançado diretamente na atmosfera, sem passar por uma chaminé de filtragem (IPCC, 2006).

O tratamento biológico abrange métodos como compostagem e digestão anaeróbica, a partir dos quais ocorre a degradação do carbono orgânico dos resíduos. A compostagem é um processo aeróbio, no qual uma grande fração do carbono orgânico degradável nos resíduos é convertida em CO_2 , mas também em CH_4 (nas seções anaeróbicas do composto) e em uma pequena fração de N_2O . A digestão anaeróbica age por meio da decomposição natural de matéria orgânica dos resíduos em ambiente desprovido de oxigênio, gerando em grande parte CH_4 , e o restante significativo produzido de subprodutos gasosos é de CO_2 . O ambiente propiciado por esse método possibilita a recuperação e uso energético do biogás gerado.

Os efluentes líquidos são gerados a partir de uma variedade de atividades, que podem ser domésticas, comerciais ou industriais. O tipo de atividade a partir da qual o efluente é gerado impacta diretamente a composição do mesmo e, portanto, seu potencial de emissão de cada GEE.

Os efluentes domésticos têm alto teor de carga orgânica, que, quando degradada, pode gerar significativa emissão de CH_4 . Essas emissões diferem conforme o tipo de tratamento aplicado, atingindo maiores quantidades com tratamentos em meios anaeróbios.

Os efluentes industriais apresentam diferentes cargas de material orgânico dependendo do setor do processo industrial. Para analisar as estimativas do setor, foram classificadas as indústrias estratégicas que geram grande volume de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), relacionadas com o setor de produção de: celulose, carne bovina, carne suína, carne de aves, leite cru, leite pasteurizado e cerveja.

As projeções das emissões no setor de resíduos consideram a implementação das principais estratégias de mitigação do setor, utilizando como base diferentes instrumentos das políticas setoriais nacionais, literatura e conhecimento de especialistas das instituições que integram o Observatório do Clima.

Foi considerada como principal premissa a universalização do acesso aos serviços de saneamento, em especial no que se refere à cobertura dos sistemas de coleta de resíduos sólidos e de efluentes domésticos, bem como o encerramento da disposição final considerada ambientalmente inadequada. Esses são aspectos centrais que permeiam os principais instrumentos do setor, como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) e o Marco Legal de Saneamento Básico. No que se refere à queima de resíduos domiciliares, considera-se que essa rota deixará de ser adotada a partir da universalização da coleta.

Outro aspecto importante para os especialistas consultados é que as rotas de tratamento térmico, como por exemplo, plantas de waste to energy de incineração não devem ser priorizadas na gestão de resíduos sólidos no Brasil. Nesse sentido, a Coalizão Clima e Ar Limpo (Climate and Clean Air Coalition – CCAC), que tem como um dos focos o gás metano dentre os poluentes climáticos de vida curta, indica uma hierarquia mitigatória para o setor que coincide com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estando no topo as ações de prevenção da geração no início da cadeia, no meio da cadeia as ações de desvio/separação para tratamentos mais adequados para cada tipo de resíduo – como reciclagem e tratamento biológico –, e só no fim da cadeia as ações de minimização dos impactos da disposição final, tais como aterros sanitários mais adequados e bem equipados e medidas de recuperação e aproveitamento de biogás.

A CCAC (s.d.) destaca que globalmente cerca de um terço dos alimentos produzidos para consumo humano são desperdiçados, e o Brasil se encontra nessa mesma conjuntura, o que gera significativa quantidade de metano a partir dos resíduos orgânicos. Seguindo a ordem de prioridade da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estratégias voltadas para logísticas de menor desperdício – na produção e/ou no consumo – estariam no primeiro componente da hierarquia mitigadora do setor: não geração. No Brasil, a destinação de



grande parte dos resíduos sólidos ainda a aterros controlados e lixões demonstra o potencial de melhoramento no setor, seja pela redução desse encaminhamento, por meio de maiores taxas de reciclagem e tratamentos biológicos, seja pelo aprimoramento das destinações finais, como a qualidade dos aterros.

3.5.1 Resíduos sólidos

A disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários é a principal fonte de metano do setor de resíduos. As medidas que se destinam a desviar os resíduos sólidos municipais devem seguir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que expressa a ordem de prioridade de ações como: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e adoção de tecnologias de recuperação energética. Portanto, nesse contexto, foram consideradas premissas que incorporam o aumento da taxa de reciclagem de secos, aumento da quantidade de resíduos encaminhados para o tratamento biológico e aumento do aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários, com destaque aos dois últimos para redução das emissões de metano.

Quadro 3.5.1. Principais premissas adotadas para mitigar as emissões de metano no setor em relação ao tratamento de resíduos sólidos

SUBSETOR	PREMISSA	INTENSIDADE DA AÇÃO NO TEMPO (%)		
		2028	2032	2035
Disposição final de resíduos sólidos	Recuperação de materiais recicláveis secos	9	17	24
	Massa total com disposição final inadequada	0	0	0
	Percentual do biogás aproveitado energeticamente (aterros e digestão anaeróbia)	26	50	58
Tratamento biológico	Massa destinada ao tratamento biológico	5	11	18

3.5.2 Efluentes líquidos

Em relação ao tratamento de efluentes líquidos domésticos, considerou-se como principal referência a universalização do serviço de coleta e tratamento, com foco em instalar novas centrais de tratamento aeróbias e instalação de novos reatores anaeróbios, com objetivo de aumentar as taxas de captura de biogás nas estações de tratamento de efluentes (ETEs). Além disso, deve-se incentivar a otimização de sistemas existentes com foco no aumento da eficiência de queimadores e desenvolvimento de critérios/diretrizes de projeto que minimizem emissões (ex: limitar o acúmulo de lodo; garantir nível d'água apropriado; controle dinâmico de aeração).

O Quadro abaixo consolida as principais premissas qualitativas e quantitativas adotadas nas projeções das emissões relacionadas com o tratamento de resíduos por subsetor relacionados com os diferentes instrumentos setoriais.

Quadro 3.5.2. Principais premissas adotadas para mitigar as emissões de metano do setor em relação ao tratamento de efluentes líquidos domésticos

SUBSETOR	PREMISSA	INTENSIDADE DA AÇÃO NO TEMPO (%)		
		2028	2032	2035
Efluentes domésticos	Universalização da cobertura do serviço de coleta	100	100	100
	Instalar novas centrais de tratamento aeróbias e instalação de novos reatores anaeróbios com foco na captura de biogás, ampliar em 5% a adoção desses tipos de rota até 2035			
	Otimização de sistemas existentes com foco no aumento da eficiência de queimadores			

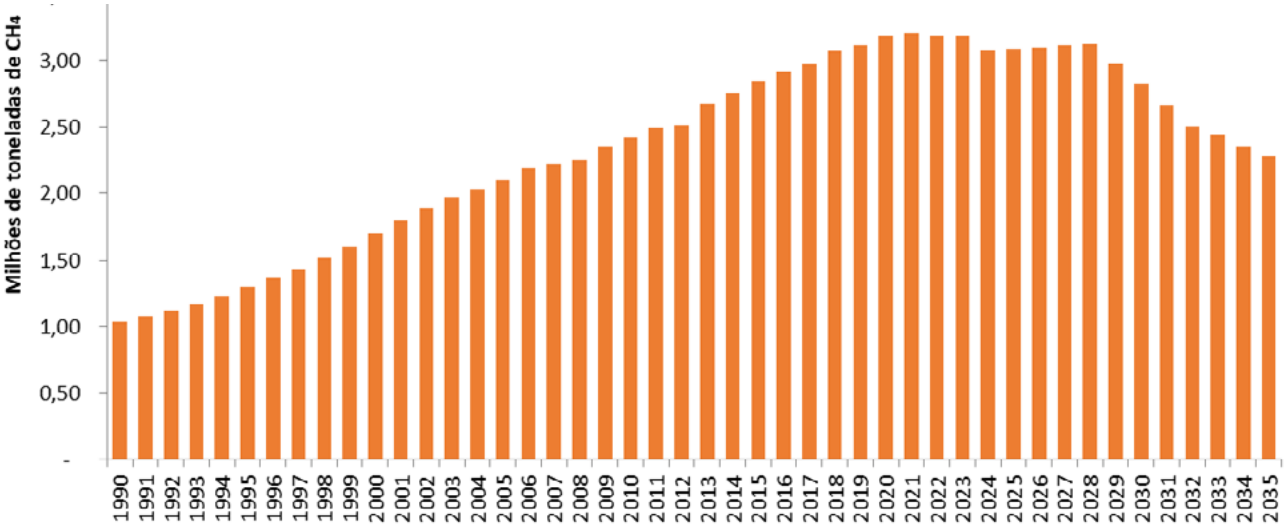
3.5.3 Balanço de emissões

Historicamente as emissões no setor de resíduos apresentam um crescimento acentuado, muito associado ao crescimento populacional e à ampliação das taxas de acesso aos serviços de saneamento no Brasil, como apresentado na Figura 3.6.3.a. Com a implementação das medidas elencadas anteriormente, busca-se atingir a universalização do acesso aos serviços com a incorporação de ações de mitigação e uma gestão mais sustentável de resíduos, resultando na diminuição das emissões de metano relacionadas com o tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos.

No que diz respeito à evolução das emissões no setor, no intervalo de 2020-2035 é projetado um decréscimo de aproximadamente 28% (equivalente a uma redução de 904 mil tCH₄). Já considerando o intervalo de 2022-2035, segundo a proposta de NDC do OC, projeta-se uma diminuição de 29% (abatimento de 908 mil tCH₄).



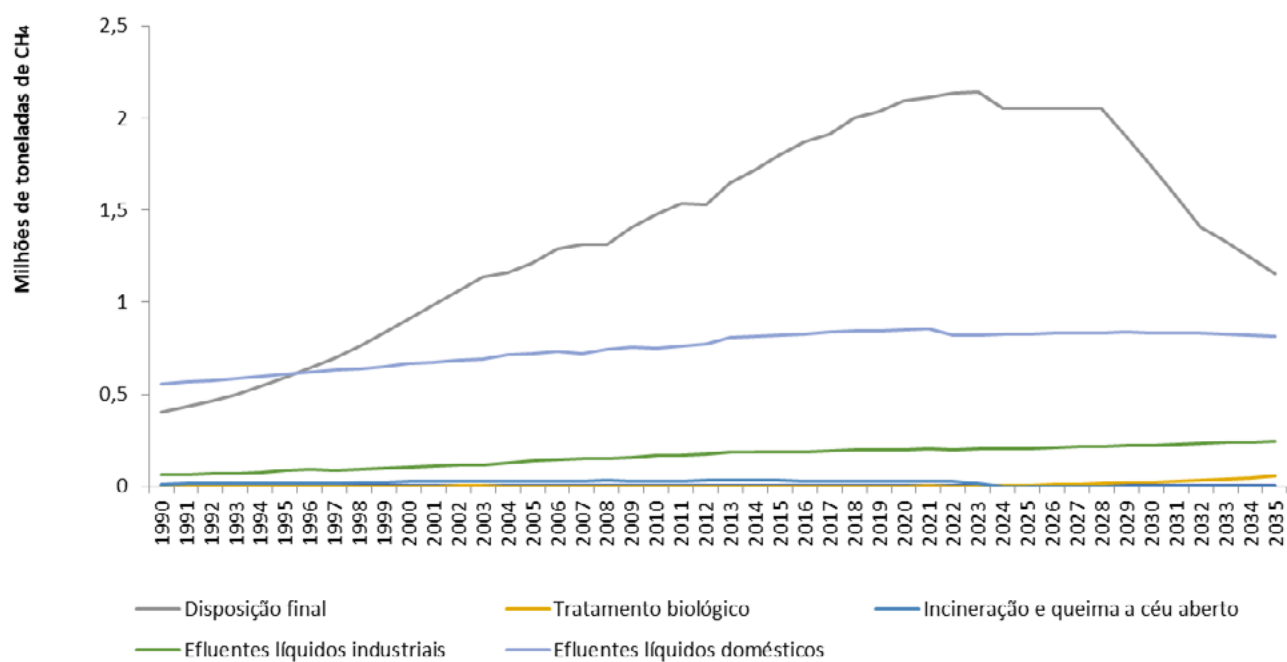
Figura 3.5.3.a: Panorama histórico e projeções para o setor de Resíduos no Brasil (1990-2035)



Já em relação ao tratamento biológico, projeta-se um aumento nas emissões, visto que as taxas de desvio de aterros sanitários para estes tipos de rota serão cada vez mais significativas. Também há uma tendência de aumento das emissões relacionadas ao tratamento de efluentes líquidos industriais – cerca de 23% de 2023 a 2035, a qual está relacionada com o aumento do PIB; enquanto os efluentes líquidos domésticos tendem a se manter em níveis similares ao observado em 2022, dado o balanço entre o aumento da população e a implementação de medidas de mitigação. Todas as informações supracitadas constam no Quadro 3.5.3, bem como na Figura 3.5.3.b.

Quadro 3.5.3: Panorama e projeções para o setor de Resíduos

SUBSETOR	ANO DE REFERÊNCIA (EM tCH ₄)					
	2020	2021	2022	2023	2030	2035
Disposição final	2.096.054	2.111.847	2.137.897	2.140.771	1.744.854	1.158.073
Tratamento biológico	1.298	1.688	574	578	24.031	54.449
Incineração e queima a cé aberto	28.949	29.099	27.648	17.806	-	-
Efluentes líquidos industriais	200.009	203.003	199.012	203.278	224.298	245.591
Efluentes líquidos domésticos	852.133	858.560	818.325	818.929	834.576	816.387
Emissões totais	3.178.444	3.204.196	3.183.456	3.181.362	2.827.759	2.274.499

Figura 3.5.3.b: Projeção das emissões no setor de resíduos no Brasil por subsector (1990-2035)

Brasil 2045

4

**OPORTUNIDADES DE
APRIMORAMENTO
DAS ESTIMATIVAS
DE EMISSÕES DE
METANO**

Nesta seção são apresentadas as oportunidades de aprimoramento das estimativas de emissões de metano identificadas pela equipe do SEEG ao longo do ano de 2025.

4.1. Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos

As emissões de metano nos setores de Energia e PIUP concentram-se, majoritariamente, em dois subsetores: a produção de combustíveis fósseis, exploração e o refino de petróleo e gás natural, e o uso precário da lenha, especialmente para a cocção de alimentos. No entanto, há limitações significativas no que diz respeito à disponibilidade e à qualidade das estimativas dessas emissões no país. A ausência de informações detalhadas e precisas, como o monitoramento de vazamentos na cadeia de petróleo e gás ou dados desagregados de consumo de lenha por município, compromete a acurácia dos inventários. Assim, antes mesmo da definição de metas ou trajetórias de redução, é fundamental reconhecer que a superação dessas lacunas de informação é uma condição necessária para o aprimoramento das estimativas e para o planejamento de ações efetivas de mitigação para todas as atividades.

4.1.1 Produção de combustíveis fósseis

No que se refere à produção de combustíveis, a projeção das emissões foi baseada na utilização de fatores de emissão médios e fixos (com base nos resultados do Inventário Nacional). As estimativas históricas das emissões de metano na produção de combustíveis fósseis provém de dados autodeclarados da indústria. Dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial e temporal recentemente tem sido explorados para averiguar tais estimativas, no entanto, o presente estudo não encontrou resultados consolidados para o país. São exemplos de iniciativas nesse sentido as plataformas OGMP 2.0², Carbon Mapper³ e MARS⁴.

4.1.2 Edificações: uso residencial de lenha

A ausência de dados sobre o uso e a eficiência do uso de lenha nos domicílios brasileiros representa uma das principais limitações para a melhoria das estimativas de emissões de metano no subsetor residencial. Essa lacuna compromete a representatividade das estimativas nacionais e dificulta a alocação espacial das emissões em sua totalidade, tornando invisíveis as dinâmicas regionais de uso precário de lenha para cocção e também a aplicação de fogões modernos, que poderiam constituir uma relevante medida de mitigação de emissões de metano e gases poluentes, com benefícios para a saúde pública. A elevada heterogeneidade socioeconômica e energética entre os estados e municípios impede um diagnóstico que leve à formulação de políticas públicas direcionadas ao enfrentamento dessa pobreza energética.

² Disponível em: <https://www.ogmpartnership.org/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

³ Disponível em: <https://carbonmapper.org/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

⁴ Disponível em: <https://methanedata.unep.org/>. Acesso em: 07 jul. 2025.



Atualmente, as estimativas realizadas no âmbito do SEEG alocam as emissões de lenha no setor residencial de forma agregada, sem diferenciação geográfica entre unidades da federação (UFs). No entanto, foi identificada uma oportunidade de aprimoramento metodológico, por meio da regionalização dessas emissões com base em dados já disponíveis de domínio público. Especificamente, propõe-se a combinação de duas bases de dados complementares: o número de domicílios que utilizam lenha como principal fonte energética para cocção, obtido pelas Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios (PNAD) e o volume total de consumo final energético de lenha no setor residencial, conforme reportado anualmente no Balanço Energético Nacional (BEN), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Além disso, pode ser utilizado o consumo específico de lenha para cocção reportado na nota técnica da EPE Consumo de Lenha e Carvão Vegetal – Setor Residencial – Brasil 2021, o que permitirá calcular uma média de consumo por domicílio e, a partir disso, alocar de forma mais precisa as emissões entre as UFs.

A partir da integração dessas informações, é possível calcular o consumo médio de lenha por domicílio com uso declarado do recurso, e, a partir desse coeficiente, alocar proporcionalmente o consumo total de lenha entre as UFs. Essa abordagem permite a alocação das emissões nos estados.

4.2. Agropecuária

Para o aperfeiçoamento do cálculo das emissões de metano, assim como para as ações de mitigação, é fundamental o avanço na geração de dados de atividade, fatores de emissão e taxas de redução de emissões de metano que sejam representativos dos modelos produtivos da pecuária e agricultura nacional, de forma monitorável, transparente e pública, buscando sempre alinhamento com as diretrizes e guias do IPCC. Assim são aqui apresentadas as oportunidades identificadas de aprimoramento para as estimativas de emissões e mitigação de metano considerando questões pertinentes para a pecuária e agricultura.

4.2.1 Pecuária

Para o cálculo das emissões de metano pela pecuária é fundamental a caracterização do rebanho bovino por sexo, idade e quantidade presente, além da distinção entre atividade de corte ou produção de leite. Os dados de atividade utilizados são provenientes da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE, sendo a fonte oficial da metodologia do 4º Inventário Nacional (4ºIN).

Assim para a bovinocultura de corte e leite representaria um grande avanço a geração e obtenção de dados referentes ao tamanho do rebanho, distinguindo por sexo, idade e tipo de manejo do sistema produtivo proveniente, diferenciando entre extensivo, confinamento, semiconfinamento, suplementação a pasto e de sistemas ILPF. Tudo isso de forma sistemática, atualizada anualmente para as menores escalas territoriais possíveis. A metodologia do 4ºIN preconiza categorização do rebanho bovino de corte entre bezerras (abaixo de 1 ano), jovens (entre 1 e 2 anos), machos não confinados (acima de 2 anos), fêmeas não confinadas (acima de 2 anos), demais bovinos confinados (acima de 2 anos) e touros (acima de 2 anos).

Com essa categorização pode-se obter melhor representação do rebanho nacional por classes, entretanto, esse repartimento do rebanho precisa se basear nos dados do Censo Agropecuário, não necessariamente trazendo os parâmetros mais atuais e representativos da realidade no campo para essas alocações. Outro importante dado a ser obtido é o da raça dos animais, importante na qualificação dessa composição do rebanho nacional de forma mais acurada.

Entre esses dados, um que é necessário é o rebanho de gado de corte confinado. Entretanto, atualmente não há uma base de dados oficial nacional que forneça o rebanho de gado confinado para o país na escala estadual e municipal. Além do rebanho em confinamento, seria ideal a identificação por animais em sistema de semiconfinamento e com suplementação a pasto, trazendo melhor qualificação do rebanho para compreender a parcela que é manejada com esses sistemas, assim possibilitando estimar e distinguir suas emissões de GEE. Junto com a quantidade do rebanho, por sexo e idade em sistemas de confinamento, semi confinamento e suplementação a pasto, é fundamental a geração do dado do rebanho abatido proveniente desses sistemas, para que seja possível compreender a parcela da produção de carne que resulta desses sistemas, viabilizando o monitoramento do rebanho com adoção de terminação intensiva. Junto com isso, é fundamental um detalhamento maior do rebanho bovino abatido, separando por maiores faixas de idade. Os dados da Pesquisa Trimestral de Abate de Animais (PTAA) do IBGE trazem esses dados por estado e classifica entre bois (acima de 2 anos), vacas (acima de 2 anos), novilhos e novilhas (abaixo de 2 anos), desde 1997. Porém, para melhor compreender e monitorar os ganhos de eficiência e produtividade ao longo do tempo, junto com as melhorias pela adoção de práticas como a do abate precoce e terminação intensiva, seria fundamental a distinção do tipo de sistema produtivo de origem dos animais abatido, assim como um maior detalhamento das classes de idades abatidas desses animais, possibilitando obter, a partir de dados oficiais, a idade média de abate de bovinos no país.

Além desses dados referentes a composição do rebanho bovino de corte e leite, é fundamental o detalhamento sobre como os dejetos gerados pelos animais são manejados e tratados, assim possibilitando o monitoramento de quais tecnologias de tratamento de dejetos animais estão sendo utilizados, determinando a quantidade de cada classe de rebanho em que são empregados, assim como quais sistemas foram substituídos por outros menos emissores e quais são adicionais aos já existentes. Essa mesma forma de identificação dos sistemas de tratamento de dejetos serve para os rebanhos da suinocultura e avicultura. A quantidade do rebanho de asininos e muares também são provenientes da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE, sendo disponibilizados dados até 2012. Para o ano de 2012 adiante são realizadas projeções dos rebanhos, com base nas premissas da metodologia de cálculo do 4ºIN. O ideal é que sejam publicados novamente esses dados para os anos seguintes da série histórica, por mais que não representem parcelas significativas das emissões de metano.

Outra oportunidade de melhoria para pecuária no cálculo de suas emissões de metano é a atualização dos fatores de emissão por fermentação entérica e manejo de dejetos animais, a partir de uma maior e melhor representação dos diferentes tipos de sistemas de produção e que reflitam essa categorização do rebanho mais detalhada por faixas de idade e níveis de produção.



Destaca-se também o desafio atual de definição do cenário nacional de uso e adoção das práticas de manejo e tecnologias na pecuária que auxiliam na mitigação de metano. Com a ausência de uma representação do contexto representativo do uso dessas estratégias, detalhando por nível territorial, rebanho abrangido por essas ações e tempo de adoção, torna-se difícil sem a linha de base para que sejam realizadas proposição de metas para expansão dessas ações, assim como o monitoramento da implementação, com transparência e detalhada. Isso dificulta estimar a contribuição das que já foram adotadas, inviabilizando em muitos casos a contabilização dos seus potenciais de mitigação alinhados com as guias e diretrizes do IPCC.

4.2.2 Agricultura

Para a agricultura, o foco está nos subsetores de cultivo de arroz irrigado e queima de resíduos agrícolas, por serem as atividades emissoras oficialmente inventariadas e respondem pela parcela da de emissão proveniente da agricultura.

A Embrapa Arroz e Feijão fornece dados de áreas de plantio e colheita de arroz irrigado no nível estadual. Para o maior aprimoramento do cálculo das emissões por essa atividade o ideal seria haver dados na escala municipal, especificado qual é o regime de irrigação empregado nas lavouras, distinguidas entre inundação contínua, regime intermitente de aeração única e de aeração múltipla. Por meio dessa descrição das áreas classificadas pelo manejo da irrigação, será possível qualificar as áreas com irrigação, além da realizar a diferença entre cultivo sequeiro e de várzea. Esses dados auxiliarão no cálculo das emissões de metano pelas áreas irrigadas, em que o manejo da irrigação está associado com menor emissão pela decomposição em ambiente anaeróbico dos restos culturais do plantio de arroz, além de compreender quais são as áreas que já realizam esse tipo de manejo, facilitando o monitoramento e fortalecimento da sua adoção. Outra oportunidade para o cultivo de arroz está baseada no melhor detalhamento e monitoramento das áreas com preparo antecipado (PA) e preparo convencional (PC) para o estado do Rio Grande do Sul, sendo que o PA apresenta menor emissão de metano por área comparados com PC e outras formas de preparo do solo. O mapeamento do manejo no solo na etapa de cultivo apoiará o monitoramento das áreas que já empregam essa prática, servindo de apoio para a expansão nas áreas com PC.

Para a queima dos resíduos agrícolas, principalmente da cana-de-açúcar, a melhoria de dados é referente às áreas colhidas que ainda apresentam a queima dos resíduos, atrelado principalmente a ausência do uso de maquinário agrícola para a colheita. A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), por meio do Boletim da Safra de Cana-de-Açúcar, disponibiliza dados de áreas com colheita mecanizada de cana-de-açúcar no nível estadual, sendo todo o restante sendo assumido como colhido manualmente, sendo um forte indicativo do emprego do fogo como método de baixa tecnificação de limpeza da área. Justamente esse dado que é utilizado para o cálculo das emissões de metano por esse subsetor, sendo fundamental o aprimoramento desse dado de atividade.

A partir de dados do MapBiomass Fogo Coleção 4 é possível obter os dados de atividade sobre a área de cultivo de cana-de-açúcar com queima, podendo ser utilizado para o cálculo das emissões pela queima dos resíduos agrícolas, demonstrando como o uso de dados georreferenciados e a partir das cicatrizes de

fogo podem ser empregados para essa culturais e demais que atualmente não são oficialmente inventariadas pelo 4ºIN.

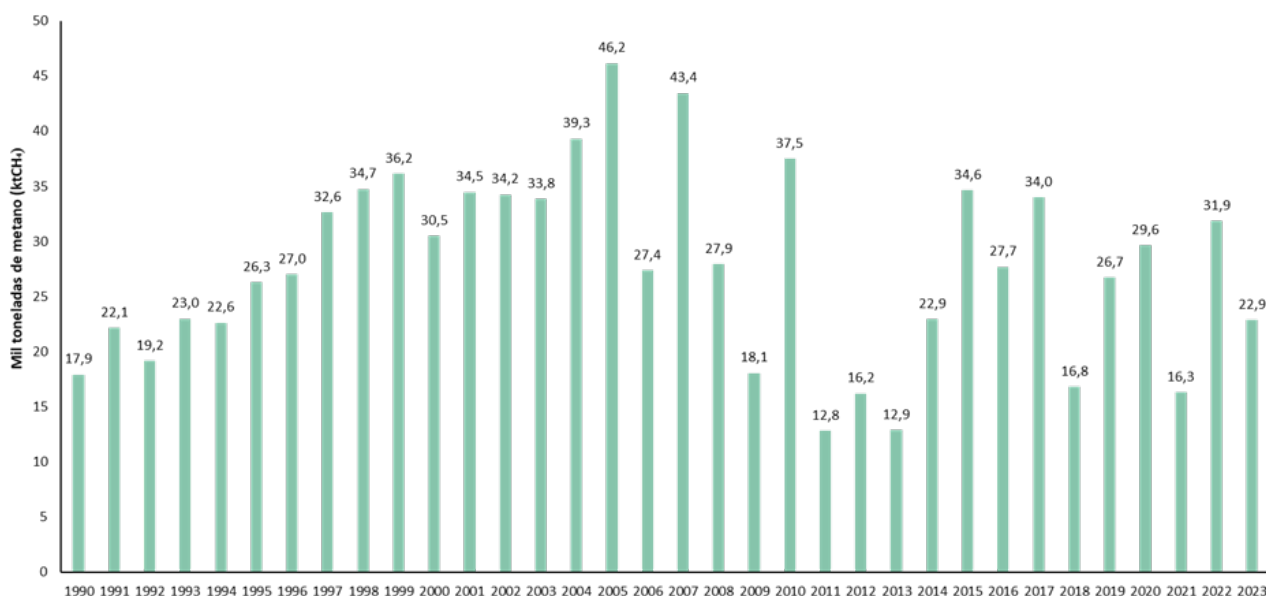
4.2.3 Queimadas associadas a pasto

O SEEG realiza a estimativa das emissões de GEE resultantes das áreas de pasto que foram queimadas e que permaneceram como pastagens após a ocorrência do fogo. Essas emissões resultam da queima da biomassa e constituem emissões e remoções atualmente não contabilizadas pelo Inventário Nacional (emissões e remoções NCI).

Na coleção 12.0 do SEEG, foram utilizados os dados das áreas com cicatrizes de fogo do MapBiomas Fogo (Coleção 3), possibilitando obter a área queimada de pasto por bioma para o cálculo das emissões de GEE, com base na metodologia do IPCC e dados disponíveis de biomassa por área de pasto do 4º Inventário Nacional. As emissões são provenientes da combustão da biomassa das pastagens, considerando os reservatórios de biomassa na parte aérea e da matéria orgânica morta, gerando emissões de metano, óxido nitroso, monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx).

Em 2023 a emissão de metano pela queima das pastagens foi de 22,9 mil toneladas, resultante da queima total de 3,8 Mha. Essa emissão foi 28% menor do que a de 2022, quando 5,4 Mha foram queimados. O ano recorde de emissões foi em 2005, quando foram queimados 7,8 Mha e foram emitidas 46,2 mil toneladas de metano.

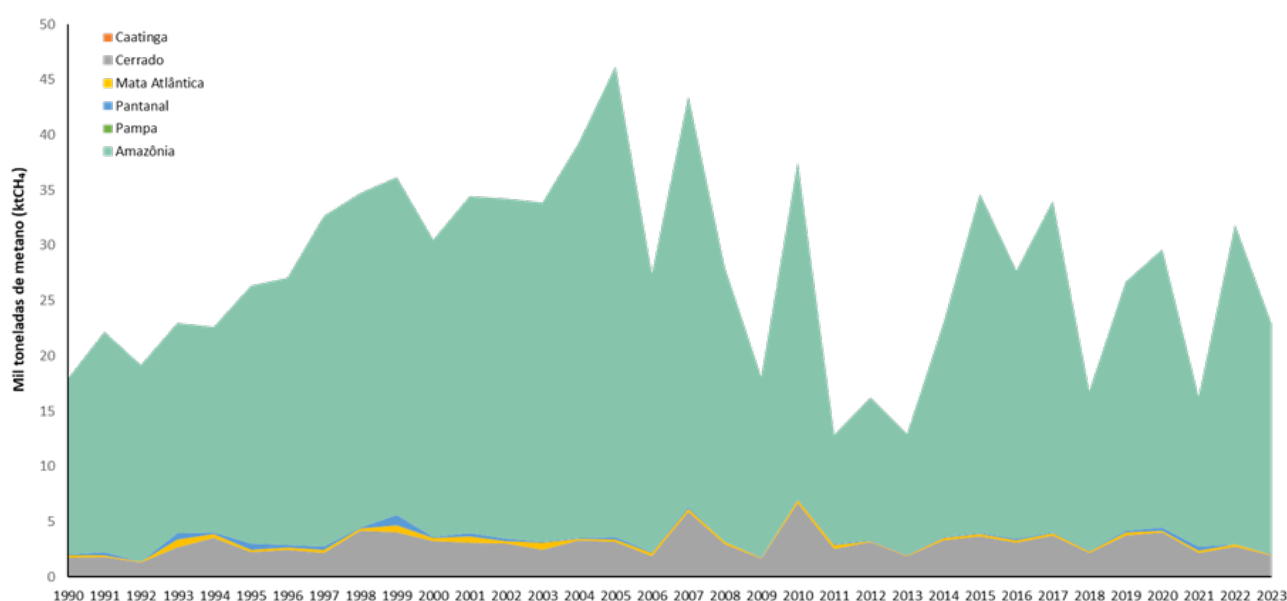
Figura 4.2.3.a: Emissões da queima das áreas de pasto que permanecem como pasto após a ocorrência de fogo de 1990 até 2023





A maior parte das emissões são decorrentes das queimadas no bioma da Amazônia, com 91% das emissões de metano e com o total de 20,8 mil toneladas em 2023, além de ser o bioma com a maior emissão ao longo da série histórica. O segundo bioma com mais emissões é o Cerrado, que responde por 8% das emissões, com o total de 1,9 mil toneladas de metano. O terceiro bioma é a Mata Atlântica, com 1% das emissões, com uma emissão de cerca de 0,1 mil toneladas. Os demais biomas, respondem juntos por menos de 1% das emissões restantes, sendo que as emissões decorrentes dos pastos no Pampa, ocorrem pastagens naturais, sendo contabilizadas pelo setor de MUT.

Figura 4.2.3.b: Emissões por bioma da queima das áreas de pasto que permanecem como pasto após a ocorrência de fogo de 1990 até 2023



O uso do fogo como ferramenta de manejo possui diversas finalidades nos sistemas produtivos extensivos de pecuária, como para o controle de espécies invasoras, renovação (restabelecimento) das pastagens e o controle de plantas indesejadas (CATAPANI *et al.*, 2024). Também é necessário diferenciar o uso do fogo em áreas de pastagens nativas ou cultivadas, sendo que nas nativas, em que a vegetação é naturalmente aberta, o fogo acaba sendo um elemento natural da dinâmica da paisagem. Já para as pastagens cultivadas, o fogo quase sempre não deverá ser adotado, visto que pelo bom manejo do pasto, pode-se obter os mesmos resultados sem as diversas externalidades do fogo, como a emissão de GEE, alterações propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além do risco de se tornarem incêndios para além dessas áreas. Vale destacar também o uso do fogo como manejo de forma prescrita, em que é realizado com critérios técnicos, atendendo a legislação pertinente, de modo planejado, monitorado e controlado, além de considerar como componente ecológico de biomas como o Cerrado, Pantanal e Pampa (SANTOS *et al.*, 2023).

Entre as fontes emissoras de metano pelo setor, as emissões pela queima dos pastos é a segunda maior pela atividade de agricultura, ficando somente atrás das emissões de cultivo de arroz irrigado e na frente das resultantes da queima dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar. Assim, a mitigação de metano ocorre através da eliminação dessa prática nos casos em que seja evitável por meio da adoção de boas práticas de manejo das pastagens, de acordo com tipo de sistema produtivo, pasto e o bioma em que se encontra. Nos casos em que for utilizado o fogo, deve-se buscar o seu emprego de modo que atenda os critérios técnicos de manejo, sempre alinhamento com a legislação pertinente vigente.

4.3. Mudanças de Uso da Terra e Florestas

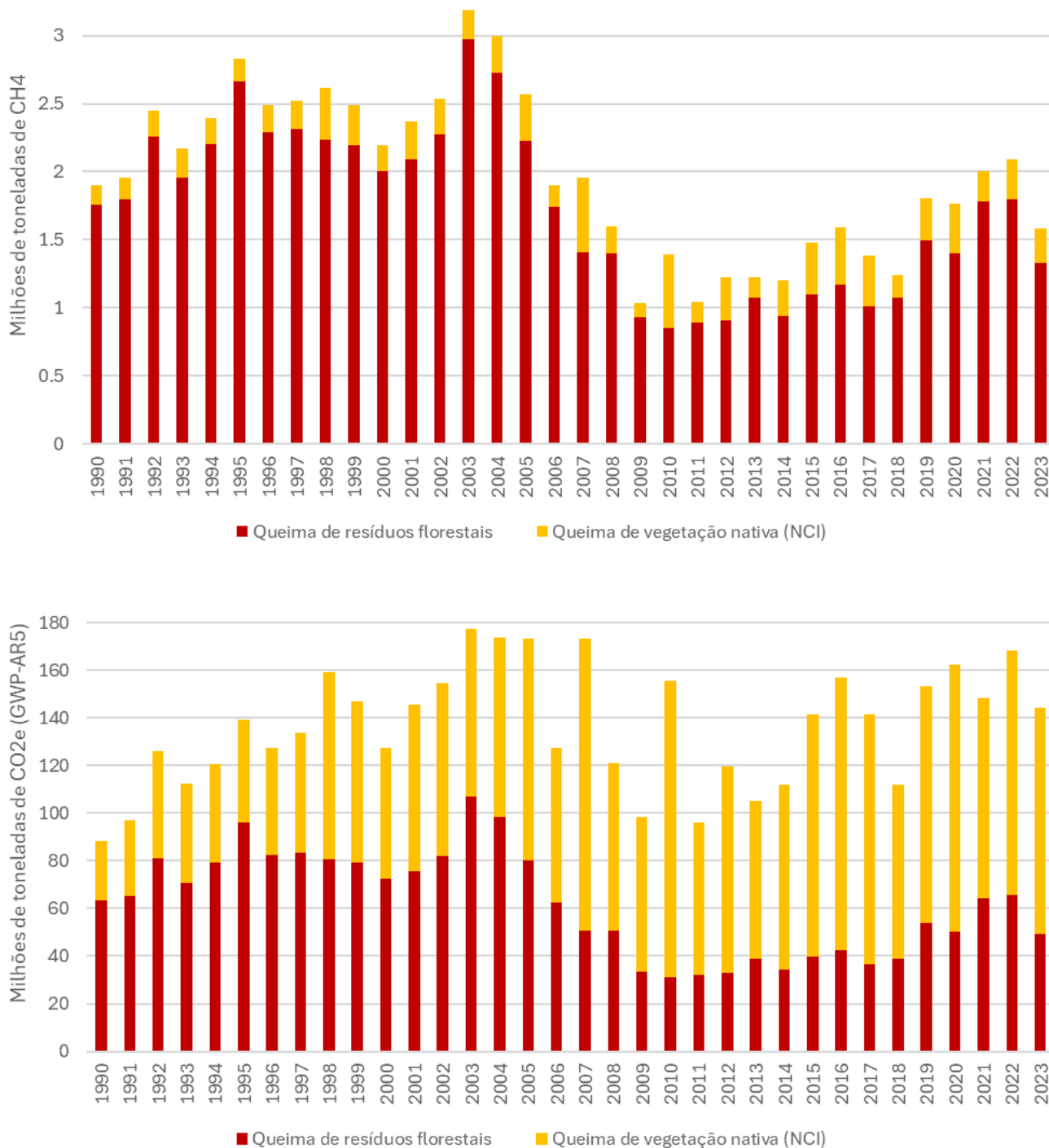
No setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas são identificadas oportunidades de reportar emissões não contabilizadas no Quarto Inventário Nacional. Além das queimadas associadas ao processo de desmatamento, que representam cerca de 4% das emissões de metano por desmatamento na última década, existem outros processos emissores que não são contabilizados no Inventário Nacional: as queimadas não associadas ao desmatamento, ou incêndios florestais, e as emissões de metano em reservatórios artificiais.

4.3.1. Queimadas não associadas a desmatamento

O SEEG reporta as emissões relacionadas às queimadas em áreas de vegetação nativa como emissões não contabilizadas no Inventário (emissões NCI). Esse componente representa aproximadamente 20% das emissões de metano por fogo associado ao desmatamento. Em termos de CO₂ equivalente, esse componente quase triplica (acresce em 174%) as emissões médias de CO₂ equivalente por fogo associado ao desmatamento nos últimos 5 anos (Figura 4.3.1.a). A importância desse processo frente às emissões por fogo contabilizadas no Inventário vem crescendo na última década, à medida que o desmatamento cai e a relevância do fogo como agente de degradação nos biomas brasileiros cresce (Figura 4.3.1.a).



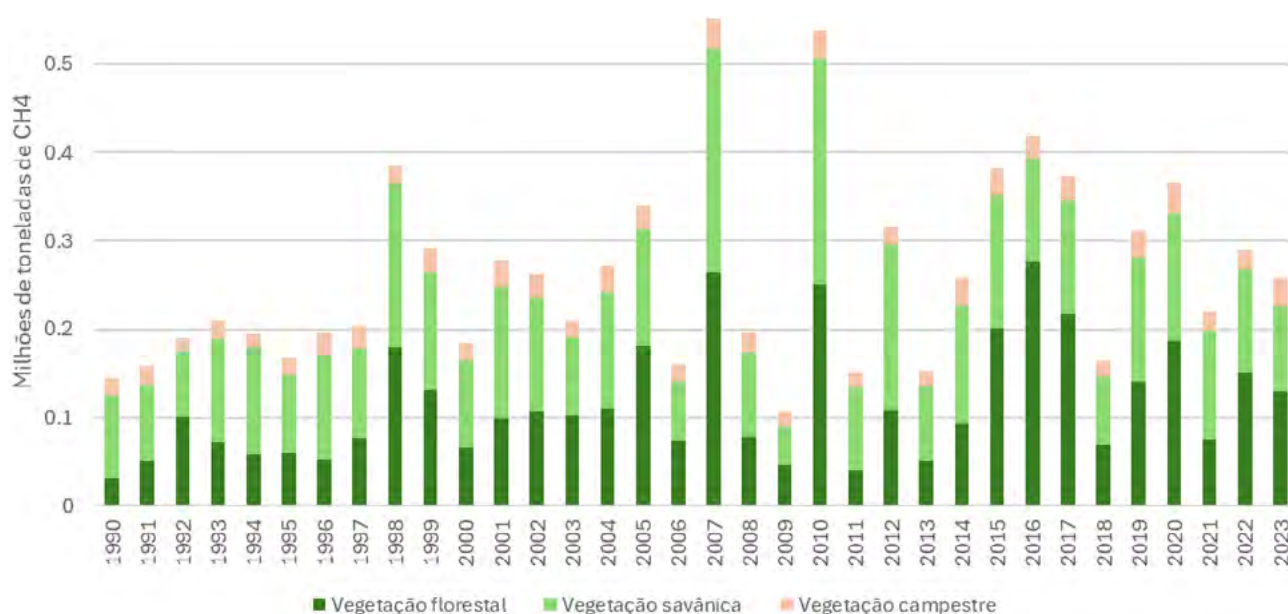
Figura 4.3.1.a. Histórico das emissões de metano (CH_4) e de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) no Brasil pelo processo de incêndios florestais, comparado com as emissões por fogo associado a desmatamento. Fonte: SEEG Coleção 12 (2024)



O combate aos incêndios florestais e o emprego de manejo integrado do fogo estão mencionados nas políticas públicas atuais. Pode-se sugerir como meta a eliminação das queimadas em vegetação florestal, que é sensível ao fogo e sujeita à severa degradação ambiental e ecológica por queimadas. Ao longo do período, queimadas em florestas emitiram quase 4 milhões de toneladas de metano (ou 0,11 milhões de toneladas anuais em média), quase a metade (44%) das emissões totais por queimadas em vegetação nativa (contra 47% em vegetação savânica) na série temporal (Figura 4.3.1.b). Se essa eliminação do fogo em florestas for atingida, portanto, teremos o potencial de cortar pela metade as emissões de metano por queimadas no Brasil.

Em vegetação savânica e campestre, adicionalmente, o emprego das políticas públicas para manejo integrado do fogo tem o potencial de reduzir as queimadas nesses tipos de vegetação e alterar a época em que são concentradas. Essas medidas têm o potencial de reduzir ainda mais as emissões por queimadas, já que queimadas que ocorrem de forma controlada e no início da seca têm o potencial menor de emissão, pela condição mais úmida dos estoques combustíveis (Gomes *et al.*, 2024).

Figura 4.3.2.b. Histórico das emissões de metano (CH_4) por queimadas por tipo de vegetação no Brasil. Fonte: SEEG Coleção 12 (2024)



Independente da definição de metas quantitativas, ressaltamos que, para o combate aos efeitos adversos do fogo (seja de uso legalizado ou não), deve-se elaborar planos permanentes para todos os biomas brasileiros, a serem implementados e renovados independentemente do contexto governamental, com o suficiente orçamento provisionado e transferido aos órgãos/entidades de prevenção e controle de tais eventos. Tais planos devem conter metas definidas quantitativamente e com prazos específicos. Ressalta-se a especial atenção que deve haver para a atividade de queima prescrita, cuja aplicação deve ser ampliada à luz da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (Lei 14.944/2024). Ainda, deve-se implementar a integração



de sistemas de dados e informações sobre as autorizações de queima e combate aos incêndios florestais, os quais devem ser de livre acesso público, com atualização permanente e em base oficial do governo.

4.3.2. Reservatórios artificiais

Áreas úmidas, como turfeiras e florestas e campos inundáveis, representam fontes naturais de metano provenientes da decomposição de matéria orgânica em ambiente anóxico (sem oxigênio) por microbiota metanogênica (Watson *et al.*, 2000). Já o represamento de rios e formação de reservatórios artificiais são ações que produzem emissões de metano e deveriam ser contabilizadas como fontes de emissões antrópicas (IPCC, 2019). No entanto, para contabilização do componente antrópico das emissões de CH₄ em áreas úmidas seria necessária a quantificação de emissões líquidas relacionadas às atividades antrópicas, descontando aquelas emissões de metano que ocorrem naturalmente. E é justamente com relação às áreas úmidas onde se encontram as maiores incertezas no balanço de metano atmosférico global, pois as emissões nesses locais apresentam uma dinâmica ainda pouco conhecida. Sem entender como se dá a dinâmica natural, é difícil entender qual parte é consequência sobre o balanço de metano das alterações antrópicas nos ecossistemas. Assim, tais emissões nunca foram inventariadas no Inventário Nacional ou estimadas pelo SEEG.

Usinas hidrelétricas (UHEs) e seus reservatórios podem emitir de forma significativa dióxido de carbono e metano e alguns estudos têm mostrado que hidrelétricas podem poluir mais que usinas a gás, óleo e carvão (De Faria *et al.*, 2015). As emissões de metano ocorrem devido ao alagamento de grandes quantidades de estoque de carbono na vegetação e de matéria orgânica no solo, que vão decompor em ambiente anóxico após o enchimento da barragem. Emissões de metano em reservatórios de hidrelétricas podem se dar de três formas (IPCC, 2006): por difusão molecular através da interface ar-água na superfície do lago; por ebulição, em forma de bolhas que partem do sedimento depositado no fundo do reservatório e sobem diretamente pela coluna d'água; e por degaseificação, que consiste na difusão molecular entre o ar e a água de forma acelerada, causada pela passagem da água pelas turbinas.

No entanto, há controvérsias sobre o papel dos reservatórios de grandes usinas hidrelétricas (UHEs) para as emissões de metano (Dos Santos *et al.*, 2017; Fearnside, 2013). Estudos que comparam emissões por difusão na superfície de reservatórios concluíram que as emissões de metano em hidrelétricas são quase sempre menores que as emissões geradas por termelétricas (Rosa *et al.*, 2004). Fearnside (2013; 2015), por outro lado, discute que não considerar as emissões geradas por ebulição (bolhas produzidas no fundo do reservatório) e principalmente pela passagem da água pelas turbinas (degaseificação) pode subestimar muito as emissões, o que já havia sido indicado por outros estudos (Kemenes *et al.*, 2007). De fato, o maior e mais longo estudo de emissões de metano em uma hidrelétrica tropical, a Petit Saut, na Guiana Francesa, indicou emissões de metano significativas, especialmente pelo processo de degaseificação nas turbinas (Demarty & Bastien, 2011).

A elevada variação nas emissões de metano mensuradas nesses estudos, além do desconhecimento sobre a dinâmica natural das emissões de metano nas florestas em condição de pré-alagamento, impede um

exercício de estimativa dessas emissões com grau de incerteza aceitável para inclusão dessas estimativas como um componente NCI (não considerado no Inventário) no setor de Mudanças de Uso da Terra do SEEG. Assim, é necessário que novos dados sejam gerados, que permitam as estimativas dessas emissões, especialmente por estudos que considerem medições pré e pós-alagamento e as três fontes de emissão de metano nos reservatórios (difusão, ebulição e degaseificação).

4.4. Resíduos

Ao longo dos anos estão sendo observadas melhorias no que se refere aos dados necessários para se estimar as emissões de GEE relacionadas com o tratamento de resíduos no Brasil, em especial no que se refere ao tratamento de resíduos sólidos, por meio de instrumentos importantes como o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), onde os prestadores de serviço de saneamento ambiental locais, regionais e municipais reportam seus dados.

No entanto, ainda são observadas relevantes fragilidades no processo de obtenção de informações, bem como atualmente existem diversas plataformas que apresentam informações de satélites, relatórios corporativos e estudos científicos sobre emissões de metano globalmente e a nível nacional que apresentam grande potencial para fornecerem dados com maior acurácia no setor. Nos tópicos a seguir serão levantadas algumas das fragilidades e potencialidades no setor.

4.4.1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos

A composição dos resíduos é uma variável importante nas estimativas de emissões relacionadas principalmente com a disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários, controlados ou lixões porque com base na gravimetria dos resíduos é definida a fração de carbono orgânico degradável (DOC) presente no material que foi disposto no solo. Na prática, resíduos com uma maior quantidade de matéria orgânica, papel, madeira e outros apresentam um potencial maior de geração de metano.

Atualmente, não existem dados consolidados sobre a composição gravimétrica por municipalidade, de modo que para se estimar as emissões se utilizam como referência médias estaduais apresentadas no relatório de referência do setor de resíduos do 4º Inventário Nacional (MCTI, 2020). Para se aprimorar as emissões, é fundamental refinar os dados sobre a gravimetria dos resíduos sólidos nos municípios e, nesse sentido, são destacadas duas abordagens: a primeira se refere a uma atualização do próprio SINISA, para que o formulário incorpore informações sobre a composição de resíduos. O que fará, então, que nos próximos anos seja possível existir um banco de dados consolidado com dados municipais.

A curto prazo, entende-se que uma segunda abordagem seria analisar sistematicamente os Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) dos municípios brasileiros de grande porte e metrópoles, pois eles concentram grande parte da população brasileira e, conseqüentemente, também são os gran-



des focos de geração de resíduos no Brasil, a fim de se obter dados sobre composição gravimétrica mais específicos para essas localidades.

4.4.2. Recuperação de metano em aterros sanitários

A quantidade de metano recuperada em aterros sanitários é atualmente obtida a partir de dados apresentados na plataforma de consulta de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Destaca-se que, de 2003 a 2024, foram contabilizados cerca de 54 projetos de recuperação de biogás no Brasil associados a resíduos sólidos (UNFCCC, s.d.). No entanto, esses dados não são apresentados de maneira consolidada, o que dificulta o processo de obtenção de informações. Assim como para a composição gravimétrica, entende-se que a partir de uma atualização do SINISA, esse instrumento pode passar a ser uma fonte de dados para essa variável, mas a curto prazo também podem ser exploradas informações obtidas via satélite, com dados específicos dos aterros sanitários brasileiros.

4.4.3. Plataformas de monitoramento de metano

Atualmente estão publicamente disponíveis diversas plataformas para monitorar e estimar as emissões de grandes fontes emissoras de metano, com potencialidade para refinar as estimativas de emissões anuais no país. Nesse cenário, destacam-se as seguintes plataformas:

A *WasteMAP* (*Waste Methane Assessment Platform*) é uma plataforma online aberta criada pela Rocky Mountain Institute (RMI) e a Clean Air Task Force (CATF), com apoio da Global Methane Hub e da Google.org. Ela tem como objetivo traçar um panorama da situação atual das emissões de metano oriundas da gestão de resíduos sólidos por meio de diferentes fontes de dados como o Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), o modelo Solid Waste Emissions Estimation Tool (SWEET) e outros, preenchendo uma lacuna crítica ao agregar dados globais em níveis nacional, municipal e por locais de disposição final.

A *WasteMAP* apresenta informações sobre 288 locais de disposição final no Brasil, com uma estimativa de emissão de 2.179 mil toneladas de metano no Brasil, apresentando uma intensidade próxima a 10 kg de CH₄ por habitante para anos recentes. A nível de comparação para 2023, o SEEG estimou a emissão de 2.140 mil toneladas de CH₄ oriundas da disposição final de resíduos sólidos. No entanto, os 288 locais analisados representam apenas uma fração dos existentes no país, pois, segundo o SINISA, em 2023 havia, ao menos, 688 aterros sanitários. Ou seja, os locais da WasteMAP equivalem a cerca de 42% dos existentes no Brasil, se considerados apenas os aterros sanitários.

Isso levanta uma questão relevante: se uma amostra relativamente pequena já apresenta emissões comparáveis às estimadas nacionalmente pelo SEEG, isso pode indicar uma subestimação sobre emissões por resíduos sólidos. Considerando que a adesão dos prestadores de serviço de saneamento ambiental locais, regionais e municipalidades respondentes ao SINISA é voluntária, pode haver também subnotificação a

respeito do tratamento de resíduos e seus métodos. Por outro lado, a plataforma WasteMAP também atesta que suas estimativas dependem em parte de dados default do IPCC (2006, 2019) e da ferramenta SWEET (Solid Waste Emissions Estimation Tool), elaborada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Dessa forma, enquanto sua cobertura facilita transparência e permite comparações nacionais, a precisão dos dados pode variar significativamente dependendo da disponibilidade de dados reportados (geração per capita de resíduos, composição gravimétrica, eficiência da recuperação de metano, entre outros) versus dados modelados.

A plataforma *Eye on Methane*, desenvolvida pelo *International Methane Emissions Observatory* (IMEO) do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), oferece dados abertos sobre emissões de metano nos setores de Petróleo e Gás, Carvão e Resíduos. Ela integra informações de satélites, relatórios corporativos e estudos científicos para apoiar ações de mitigação. A plataforma se baseia em três fontes principais de dados: OGMP 2.0 (relatórios de empresas do setor de petróleo e gás), MARS (Sistema de Alerta e Resposta ao Metano, que usa satélites para detectar grandes emissões) e estudos científicos (como medições de campo, aéreas e por sensoriamento remoto).

A *Carbon Mapper* utiliza sensoriamento remoto por satélites e aeronaves para detectar, localizar e quantificar emissões de metano e dióxido de carbono em instalações individuais nos setores de Petróleo e Gás, Carvão, Geração de Eletricidade, Resíduos e grandes operações pecuárias. Liderando uma coalizão público-privada, a organização está desenvolvendo uma “constelação” de satélites voltada para monitorar até 90% dos chamados “grandes emissores”, oferecendo dados de alta resolução para embasar decisões científicas e ações de mitigação direcionadas.

O *Climate TRACE* (*Tracking Real-Time Atmospheric Carbon Emissions*) utiliza inteligência artificial e imagens de satélite para monitorar e divulgar, de forma aberta, as emissões de gases de efeito estufa. Fundado por organizações como WattTime e TransitionZero, cobre diversos setores, incluindo Agricultura, Edifícios, Florestas e Uso da Terra, Mineração, Transporte e Resíduos. Desde 2021, a plataforma compila dados de satélites e sensores para rastrear emissões quase em tempo real, com informações mensais e projeções até o final de 2024, de alguns países, regiões ou até mesmo por instalação individual.

A plataforma *Methane Emissions Data*, da *Global Methane Initiative* (GMI), disponibiliza uma ferramenta interativa com medições e projeções de emissões de metano por continente e país, focando nos setores apoiados pela iniciativa: biogás, minas de carvão, petróleo e gás. Os dados vêm do relatório da U.S. EPA “*Global Non-CO₂ Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation Potential: 2015–2050*”, com valores adicionais extraídos da ferramenta de dados de gases de efeito estufa não relacionados ao CO₂ da mesma agência.



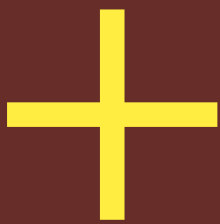
O Quadro a seguir apresenta uma breve descrição das informações apresentadas em cada uma das plataformas.

Quadro 4.4.3. Características de plataformas de monitoramento de metano no setor de Resíduos

FERRAMENTA	ANOS DISPONÍVEIS	UNIDADE DE MEDIDA	DETALHAMENTO
<u>Wastemap</u>	2022 e 2024	t de CH ₄ /ano	Apresenta emissões de 288 aterros sanitários e lixões no Brasil.
<u>Eye on Methane Map</u>	2023 a 2025	t de CH ₄ /hr	Apresenta emissões de 15 locais de disposição final no Brasil
<u>Carbon Mapper</u>	2023 a 2025	kg de CH ₄ /hr	Apresenta emissões de 23 locais de disposição final
<u>ClimateTrace</u>	2021 a 2024	t de CH ₄ /ano	Apresenta emissões de 11 locais de disposição final no Brasil
<u>Methane Emissions Data</u>	Projeções de 1990-2050	Mt de CH ₄ /ano	Estima emissões de metano para resíduos sólidos municipais a partir de 1990 numa perspectiva de continentes e países.

Entende-se que a incorporação das informações dessas plataformas exige estudos complementares para avaliar granularidade, consistência metodológica e aproveitamento no cenário brasileiro. As plataformas discutidas acima trazem um avanço potencial significativo no monitoramento de emissões, no entanto, os dados disponíveis no momento carecem, em grande parte, de completude e validação, sendo, portanto, mais adequados para subsidiar estimativas preliminares do que para compor um inventário de emissões a nível nacional.

Brasil 2045



REFERÊNCIAS





ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **ABSOLAR prevê energia solar como principal fonte brasileira até 2040.** ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/absolar-preve-energia-solar-como-principal-fonte-brasileira-ate-2040/>. Acesso em: 2024.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica nº 184/2023-STR/ANEEL - Atualização da Receita Fixa e da Tarifa de Angra 1 e 2, de 2024, em função da divulgação do IPCA de competência novembro de 2023.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 4. 2023.

ANFAVEA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023.** Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. São Paulo, p. 138. 2023.

ARNDT, Claudia; HRISTOV, Alexander N.; PRICE, William J.; *et al.* **Strategies to mitigate enteric methane emissions by ruminants - a way to approach the 2.0°C target.** *agriRxiv*, v. 2021, p. 20210085288, 2021. Disponível em: <http://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.31220/agriRxiv.2021.00040>. Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 11.666, de 24 de agosto de 2023.** Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 ago. 2023. Seção 1, p. 1.

BRASIL. **Lei nº 14.944/2024 – Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm. Acesso em: 25 ago. 2025.

CAMARGO, Estefânia Silva. **Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado.** 2015. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/128133>. Acesso em: 05 abr. 2022.

CARBON MAPPER. **Carbon Mapper Data.** Disponível em: <https://data.carbonmapper.org/#1/30.8/50.5>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CARDOSO, Abmael S. *et al.* **Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use.** *Agricultural Systems*, [S.L.], v. 143, p. 86-96, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CATAPANI, Mariana Labão *et al.* **Manejo do fogo na pecuária pantaneira: percepções e oportunidades para sua gestão sustentável no bioma.** *Biodiversidade Brasileira*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 69-88, 2 dez. 2024. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICBBio. <http://dx.doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i4.2551>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CCAC - CLIMATE AND CLEAN AIR COALITION. **Methane.** s.d. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/methane>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CEBRI - CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS. **Neutralidade de carbono até 2050: Cenários para uma transição eficiente no Brasil**. Centro Brasileiro de Relações Internacionais; Empresa de Pesquisa Energética; Centro de Economia Energética e Ambiental; Banco Interamericano de Desenvolvimento. Rio de Janeiro, p. 108. 2023.

CLIMATE TRACE. **Data Downloads**. Disponível em: <https://climatetrace.org/data>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Oferta e Demanda de Carnes. Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), 2024**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/oferta-e-demanda-de-carnes>. Acesso em: ago. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries Históricas da Safra - Cana-de-açúcar**. Companhia Nacional de Abastecimento, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 2024.

DE Faria, F.A.M, *et al.* 2015. **Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs**. Environ. Res. Lett., 10, 124019.

DEMARTY, M., Bastien, J. 2011. **GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements**. Energy Policy 39, 4197–4206.

DOS SANTOS, M.A. *et al.* 2017. **Estimates of GHG emissions by hydroelectric reservoirs: The Brazilian case**. Energy, 133, 99-107.

E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA. **Scoping Paper on the Brazilian Steel Industry**. E+ Transição Energética. Rio de Janeiro, p. 54. 2022.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a 2023): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 10 mar. 2024.

EPBR. **TCU diz que Angra 3 custará R\$ 43 bilhões mais caro que alternativas; Eletronuclear rebate**. EPBR, 2024. Disponível em: <https://epbr.com.br/tcu-diz-que-angra-3-custara-r-43-bilhoes-mais-carro-que-alternativas-eletronuclear-rebate/>. Acesso em: 2024.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano base 2022**. Empresa de Pesquisa Energética; Ministério de Minas e Energia; Governo Federal do Brasil. Rio de Janeiro, p. 274. 2023a.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 - Premissas demográficas e econômicas**. Empresa de Pesquisa Energética; Ministério de Minas e Energia; Governo Federal do Brasil. Rio de Janeiro, p. 16. 2024.



EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilão de Energia Nova A-5 de 2021 - Informações sobre a Habilitação Técnica e sobre os Projetos Vencedores.** Empresa de Pesquisa Energética; Ministério de Minas e Energia; Governo Federal do Brasil. Rio de Janeiro, p. 1. 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2032.** Empresa de Pesquisa Energética, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032>. Acesso em: 2024.

EPL - EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **PNL 2035 - Plano Nacional de Logística.** Empresa de Planejamento e Logística. Brasília, p. 216. 2021.

FEARNSIDE, P.M., 2013. **Climate change and the Amazon: tropical dams emit greenhouse gases.** Revista Harvard Rev. Latin Am. 12 (2) 30–31.

FEARNSIDE, P.M. 2015. **Emissions from tropical hydropower and the IPCC.** Environmental Science & Policy, 50, 225–239.

GLOBAL METHANE INITIATIVE. **Methane Emissions Data.** Disponível em: <https://globalmethane.org/methane-emissions-data.aspx>. Acesso em: 25 ago. 2025.

GOMES, L., Schüller, J., Silva, C., Alencar, A., Zimbres, B., Arruda, V., Silva, W.V, Souza, E., Shimbo, J., Marimon, B.S., *et al.* 2024. **Impacts of Fire Frequency on Net CO₂ Emissions in the Cerrado Savanna Vegetation.** Fire 7(8), 280.

GOMES, Rodrigo da Costa *et al.* **Contribuição do Programa PROAPE - Precoce à Política Estadual de Mudanças Climáticas e seus possíveis impactos nas emissões de gases de efeito estufa no Estado de Mato Grosso do Sul.** Campo Grande: Embrapa, 2023. 24 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1156383/contribuicao-do-programa-proape---precoce-a-politica-estadual-de-mudancas-climaticas-e-seus-possiveis-impactos-nas-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-no-estado-de-mato-grosso-do-sul>. Acesso em: 24 maio 2024.

HEBEDA, O. *et al.* **Pathways for deep decarbonization of the Brazilian iron and steel industry.** Journal of Cleaner Production, 2023. 12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136675>. Acesso em: 25 ago. 2025.

HRISTOV, Alexander N. *et al.* **An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production.** Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [S.L.], v. 112, n. 34, p. 10663-10668, 30 jul. 2015. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1504124112>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IBGE (Brasil). **Pesquisa da Pecuária Municipal: tabela 3939 - efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho.** Tabela 3939 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. 2023b. SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 17 mar. 2024.

IBGE (Brasil). **Pesquisa da Trimestral do Abate de Animais: tabela 1092 – número de informantes, quantidade, peso total de carcaças de bovinos abatidos, no mês e no trimestre, por tipo de rebanho e tipo de inspeção.** 2023c. SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 17 mar. 2024.

IBGE (Brasil). **Produção Agrícola Municipal: tabela 5457 - área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes.** Tabela 5457 - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. 2023a. SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 10 mar. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da População.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>. Acesso em: 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico.** Tabela 1209 - População. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1209>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Anuário Brasileiro do Arroz.** Santa Cruz do Sul/RS. 2023.

IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Editora: IGES, Japão.

IPCC 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Editora: IPCC, Suíça.

IPCC - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Volume 5 – Waste. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ITDP - INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY; UC DAVIS - UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DAVIS. **Compact Cities Electrified: Brazil.** Institute for Transportation and Development Policy; University of California, Davis. New York, p. 22. 2024.

KEMENES, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2007. **Methane release below a tropical hydroelectric dam.** Geophys. Res. Lett. 34, L12809.



LASCANO, Carlos E. *et al.* **Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems.** Revista Brasileira de Zootecnia, Bogotá, v. 39, p. 175-182, 2010.

MACHADO, Fernanda Samarini *et al.* **Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. 92 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/895247/1/Doc147Emissoesmetano.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

MACIEL, Isabella Cristina de Faria *et al.* **Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system?** Plos One, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 1-15, 26 jul. 2019. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0220247>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0220247>. Acesso em: 28 jul. 2022.

MAPA (Brasil). Agrostat. 2025. **Exportação importação.** Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Agrostat/Agrostat.html>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MAPA (Brasil). **PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO: Brasil 2022/23 a 2032/33 projeções de longo prazo.** Brasília: Mapa, 2023. 108 p. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2024.

MARCO LEGAL DO SANEAMENTO, 2020. **Atualização do marco legal do saneamento básico.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 25 ago. 2025.

MCTI (Brasil). **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: Relatório de referência setor agropecuária subsector cultivo de arroz.** Brasília, 2020d. 102 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 09 mar. 2024.

MCTI (Brasil). **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: Relatório de referência setor agropecuária subsector fermentação entérica.** Brasília, 2020b. 143 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 09 mar. 2024.

MCTI (Brasil). **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: Relatório de referência setor agropecuária subsector manejo de dejetos.** Brasília, 2020c. 142 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 09 mar. 2024.

MCTI (Brasil). **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: Relatório de referência setor agropecuária subsector queima de resíduos agrícolas.** Brasília, 2020e. 114 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 09 mar. 2024.

MCTI (Brasil). **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: Relatório síntese dos relatórios de referência subsetoriais setor agropecuária.** Brasília, 2020a. 9 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 11 mar. 2024.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Relatório de Referência: Setor de Resíduos. Brasília, 2020b. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_4cn_residuos_final_set2020.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

MINISTÉRIOS DAS CIDADES. SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **Módulo Esgotamento Sanitário.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MINISTÉRIOS DAS CIDADES. SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **Módulo Resíduos Sólidos.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 115. 2014.

MME (Brasil). **Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM – 2030).** Brasília: Mme, 2011. 180 p. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/plano-nacional-de-mineracao-2030-1/documentos/pnm_2030.pdf. Acesso em: 04 abr. 2024.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA – Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. 2023. **Nota Metodológica do Setor de Resíduos.** Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-NM-RESIDUOS.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Bases para proposta de 2ª NDC para o Brasil (2030–2035).** Brasília: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://oc.eco.br/nota-tecnica-bases-para-proposta-de-2a-ndc-para-o-brasil/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil.** Observatório do Clima, 2022. <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/03/SEEG-METANO.pdf>. Acesso em: 17 de agosto de 2025.



OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Novo PAC prevê transição, mas destina R\$ 335 bilhões para petróleo e gás.** Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/novo-pac-preve-transicao-mas-destina-r-335-bilhoes-para-petroleo-e-gas/>. Acesso em: 2024.

OMM - ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Scientific Assessment of Ozone Depletion 2022 - Ozone Research and Monitoring - GAW Report No. 278.** World Meteorological Organization. Geneva, p. 509. 2022.

PICKERING, N.K. *et al.* **Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants.** *Animal*, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 1431-1440, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1017/s1751731115000968>. Acesso em: 25 ago. 2025.

PINTO, Talita Priscila. **PRODUTIVIDADE E MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE PECUÁRIA BRASILEIRO.** 2019. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

PLANARES. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** 2014. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/plansab_texto_editado_para_download.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

REDE KIGALI. **Emenda de Kigali é promulgada no Brasil, 2023.** Rede Kigali. Disponível em: <https://kigali.org.br/emenda-de-kigali-e-promulgada-no-brasil/>. Acesso em: 2024.

RMI, Clean Air Task Force, and Global Methane Hub. **WasteMap - Map of Global Waste Methane Emissions.** Disponível em: <https://wastemap.earth/map?mode=site&country=BRA&site=7960>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ROMERO-PEREZ, A. *et al.* **Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitroxypropanol to a beef cattle diet¹.** *Journal Of Animal Science*, [S.L.], v. 93, n. 4, p. 1780-1791, 1 abr. 2015. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2014-8726>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ROSA, L.P., dos Santos, M.A., Matvienko, B., dos Santos, E.O., Sikar, E., 2004. **Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions.** *Climate Change* 66 (1–2), 9–21.

RTC - RENEWABLE THERMAL COLLABORATIVE. **The Renewable Thermal Vision - Finding a Path Forward for Decarbonizing Thermal Energy in the U.S. Industrial Sector.** Renewable Thermal Collaborative, 2022. Disponível em: <https://www.renewablethermal.org/rtc-vision-report-downloads/>. Acesso em: 2024.

SANTOS, S. A. *et al.* **Fogo como ferramenta de manejo em pastagens nativas.** 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1157915>. Acesso em: 21 jun. 2025

SEMIL - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano Estadual de Energia 2050 - Versão de Consulta Pública.** Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 303. 2023.

SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 528, de 2020.** Senado Federal, 2024. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/162696>. Acesso em: 2024.

SENE, Guilherme Acácio de *et al.* **Práticas estratégicas com vistas à mitigação dos gases do efeito estufa na produção de bovinos a pasto.** In: RODRIGUES, Paulo Henrique Mazza. *Novos Desafios da Pesquisa em Nutrição e Produção Animal.* São Paulo: Editora 5D, 2019. p. 268-294. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337325398_Novos_Desafios_da_Pesquisa_em_Nutricao_e_Producao_Animal/link/5dd2830ea6fdcc7e138a8e46/download. Acesso em: 25 mar. 2022.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Anual 2022.** Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. São Paulo, p. 48. 2023.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. **Eye on Methane.** Disponível em: <https://methanedata.unep.org>. Acesso em: 25 ago. 2025.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Clean Development Mechanism - CDM.** s.d. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.

WATSON, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo D.J. and Dokken D.J. (Eds.) 2000. **Special Report of the IPCC on Land Use, Land-Use Change, and Forestry.** Cambridge University Press, UK. pp 375.

WORLD BANK. **Data.** World Bank Group, 2024. Disponível em: <https://data.worldbank.org/country/brazil?locale=pt>. Acesso em: 2024.

ZSCHORNACK, Tiago. **Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produção de arroz irrigado no sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo.** 2011. 102 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/72102>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ZUBIETA, Ángel Sánchez *et al.* **Does grazing management provide opportunities to mitigate methane emissions by ruminants in pastoral ecosystems?** *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 754, p. 142029, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142029>. Acesso em: 25 ago. 2025.



OBSERVATÓRIO
DO **CLIMA**