



Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2023): **Agropecuária**

SEEG Setor Agropecuário 1970-2023

Versão 12 – dezembro de 2024

Coordenação Técnica
Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora)

Equipe Responsável
Renata Fragozo Potenza
Gabriel de Oliveira Quintana
Anderson Matheus Cardoso
Priscila Aparecida Alves

Sumário

1. Introdução	4
2. Método de cálculo	8
2.1 Fermentação entérica	8
2.2 Manejo de dejetos de animais	18
2.3 Cultivo de arroz	29
2.4 Fertilizantes orgânicos	32
2.5 Dejetos animais aplicados em solos agrícolas	35
2.6 Dejetos animais deixados em pastagem	38
2.7 Fertilizantes sintéticos	41
2.8 Resíduos agrícolas	46
2.9 Solos orgânicos	51
2.10 Mineralização de N associado à perda de carbono no solo	53
2.11 Emissões indiretas de N ₂ O via volatilização e posterior deposição atmosférica	54
2.12 Emissões indiretas de N ₂ O via lixiviação/escoamento superficial	59
2.13 Calagem	71
2.14 Aplicação de ureia	74
2.15 Queima de resíduos agrícolas	75
2.16 Emissões e remoções não contabilizadas no Inventário Nacional	78
3. Conversão para emissões equivalentes em CO₂	82
4. Qualidade dos dados	84
4.1 Critérios de Avaliação	84
4.2 Análise da qualidade dos dados	85
5. Resultados	86
5.1 Emissões totais do Brasil	86
5.2 Emissões totais NCI do Brasil	90
5.3 Emissões totais desagregadas por fonte emissora – nível País	91
5.4 Emissões totais desagregadas por fonte emissora e gás – nível País	97
5.5 Emissões por Estados do Brasil	103
6. Comparação dos resultados SEEG e 4º Inventário Nacional	104
7. Referências Bibliográficas	105
Anexo: SEEG Municípios	112
Considerações sobre as estimativas de emissões de GEE para os Municípios do Brasil	112
Dados alocados municipalmente	113
Dados não alocados municipalmente	115
Resultados SEEG Municípios	115
Qualidade das estimativas de GEE para os municípios do Brasil	116

1. Introdução

O presente relatório compreende a descrição do cálculo e os resultados das estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Setor Agropecuário do Brasil em nível federal, estadual e municipal para o período entre 1970 e 2023. Essas estimativas seguem a metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações para o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2020a), a qual se baseia nas metodologias desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

De maneira simplificada, neste relatório estão contempladas as emissões provenientes das produções agrícolas (temporárias e anuais) e pecuárias (bovinos, galináceos, caprinos, bubalinos, muares, entre outros). Adicionalmente, foram contempladas as atividades relacionadas ao uso de fertilizantes nitrogenados no solo (sintéticos e por dejetos dos animais), solos orgânicos, decomposição de restos culturais, cultivo de arroz irrigado e as áreas com resíduos agrícolas queimados. Ainda, de acordo com a metodologia do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2020a), foram incluídas as emissões provenientes do uso de calcário em solos agrícolas (calagem), do uso da torta de filtro e vinhaça (resíduos da produção de açúcar e etanol) para fertilização do solo e, finalmente, a mineralização de nitrogênio devido à perda de carbono no solo.

É importante salientar que, não estão incluídas nestas estimativas as emissões decorrentes de desmatamento, demais resíduos agroindustriais e energia relacionada ao setor agropecuário, estas emissões são contabilizadas nos respectivos setores de *Mudanças de Uso do Solo, Resíduos e Energia*. A metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) no 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020a) e considerada pelo SEEG utiliza fatores de emissão adaptados para as condições brasileiras, quando possível, portanto, atendendo ao *Tier 2* de acordo com a classificação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

Adicionalmente, a abrangência desta estimativa compreendeu o período entre janeiro e dezembro de 2023. Com relação aos dados de atividades utilizados nos cálculos de emissões, foram considerados predominantemente dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os quais estão disponíveis no Sistema de Recuperação de Dados do IBGE (SIDRA). Basicamente, são dados censitários sobre pecuária e agricultura como as populações de animais e as áreas e produções agrícolas. Outras fontes de dados foram consideradas para o cálculo das emissões deste setor, o detalhamento destas fontes está descrito no decorrer do relatório. Finalmente, as bases de dados e os cálculos foram efetuadas por meio do software Microsoft Excel, Banco de Dados Gerenciados PostgreSQL e linguagem de programação Python.

ESTADOS DE MATO GROSSO DO SUL E TOCANTINS

É importante lembrar que, durante o período de 1970 a 2023, dois novos estados foram criados por desmembramento no Brasil, o Mato Grosso do Sul (MS) em 1979 e o Tocantins (TO) em 1989, pela divisão dos estados do Mato Grosso (MT) e de Goiás (GO), respectivamente. Essas datas de criação foram consideradas nos cálculos do SEEG alocando ao estado de origem qualquer dado de nível de atividade que eventualmente estivesse alocado nesses territórios antes do desmembramento. Não há, assim, emissões de GEE nos Estados de MS e TO antes de suas criações.

FONTES EMISSORAS

No setor agropecuário as principais fontes emissoras de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC, são:

- Fermentação entérica (CH_4);
- Manejo de dejetos animais (CH_4 e N_2O);
- Cultivo de arroz (CH_4);
- Queima de resíduos agrícolas (CH_4 , N_2O , CO e NO_x);
- Solos manejados (incluem as emissões de CO_2 de calagem e aplicação de ureia).

GASES DE EFEITO ESTUFA

De maneira simplificada, os principais gases relacionados ao setor agropecuário são CH_4 , N_2O e CO_2 . supracitado, cada gás possui um potencial diferente para influenciar às mudanças no clima, quando presentes na atmosfera, pois interagem com a radiação solar com intensidades diferentes.

Duas abordagens são frequentemente utilizadas para determinação do impacto desses gases na atmosfera: o GWP (*Global Warming Potential*) e o GTP (*Global Temperature Change Potential*). O primeiro considera a influência desses gases na alteração do balanço energético da Terra e, o segundo, sua influência no aumento de temperatura. Ambos consideram um horizonte de cem anos e expressam seus resultados em uma unidade comum, o equivalente de CO_2 (CO_2e). É importante salientar que, o GWP é a abordagem mais utilizada, no horizonte de tempo de 100 anos. Na Tabela 1 estão apresentadas as equivalências para os GEE considerados neste estudo relacionadas aos relatórios publicados pelo IPCC (1995, 2007, 2013 e 2021).

Tabela 1. Equivalência dos gases CH₄ e N₂O em relação ao CO₂ em termos de Potencial de Aquecimento Global (GWP-100) e Potencial de Mudança na Temperatura Global (GTP-100) - (IPCC, 1995, 2007, 2013, 2021).

Gás	GWP-AR2	GWP-AR4	GWP-AR5	GWP-AR6
CO ₂	1	1	1	1
CH ₄	21	25	28	27
N ₂ O	310	298	265	273
Gás	GTP-AR2	GTP-AR4	GTP-AR5	GTP-AR6
CO ₂	1	1	1	1
CH ₄	5	5	4	4,7
N ₂ O	270	270	234	233

EMISSÕES E REMOÇÕES NÃO CONTABILIZADAS NO INVENTÁRIO NACIONAL - NCI

O SEEG ao longo dos anos tem feito o exercício de calcular emissões e remoções que não foram contempladas nos Inventários Nacionais, este exercício foi nomeado como **NÃO CONTABILIZADAS NO INVENTÁRIO NACIONAL (NCI)**. O Objetivo principal é demonstrar como há fontes de emissões e remoções que precisam ser melhores mensuradas e contabilizadas, refletindo da melhor forma possível, a realidade no Brasil e ainda estimular discussões sobre práticas agrícolas conservacionistas, que influem diretamente nos fluxos dos estoques de carbono no solo do solo e na biomassa aérea.

SOLOS AGRÍCOLAS

Os solos agrícolas podem emitir ou remover CO₂ da atmosfera por meio da variação nos estoques de carbono do solo. Essa variação ocorre em função do uso e manejo do solo e, até o momento, não é reportada nos inventários nacionais. Solos cultivados sob plantio convencional (i.e., que empregam aração e gradagem) e pastagens degradadas tendem a emitir CO₂ para a atmosfera devido a decomposição acentuada da matéria orgânica do solo. Ao passo que, o solo de lavouras que adotam sistema de plantio direto, pastagens bem manejadas, sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta e florestas plantadas tendem a remover da atmosfera CO₂ e estocá-lo no solo. Contudo, para essas fontes de emissão e remoção, deve-se levar em consideração os aspectos de permanência, que se refere, por exemplo, a não garantia de que o carbono eventualmente estocado no solo venha a ser novamente emitido caso haja mudança em seu sistema de manejo. O tipo de uso do solo anteriormente e a técnicas para mensuração dessa variação dos estoques de

carbono ao longo do tempo. Esses aspectos precisam de maiores detalhamentos e pesquisa para alcançarem o nível de precisão e de qualidade de dados para representarem cada vez o contexto do setor de agropecuária (IPCC, 2006a).

QUEIMA DE ÁREAS CONVERTIDAS PARA AGRICULTURA E PASTAGEM

Atualmente, somente as emissões de GEE das áreas com queima de cana-de-açúcar e algodão são consideradas nos inventários nacionais. No entanto devido ao aumento de áreas queimadas por outros tipos de uso do solo, nesta versão do SEEG, foram incluídas as emissões de CH₄, N₂O, CO e NO_x oriundas da queima de áreas com pastagem que continuaram como pasto após a ocorrência da queima (não havendo distinção sobre a origem da queima, sendo acidental ou prática de manejo).

2. Método de cálculo

2.1 Fermentação entérica

O cálculo das emissões de CH₄ anuais pela fermentação entérica no período de 1970 a 2023 foi feito com base na metodologia utilizada no **Relatório de Referência do Subsetor de Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE** (Brasil, 2020b), conforme equação (1):

$$E_{FE} = \sum_T (N_T \times EF_T \times 10^{-6})$$

Equação 1

Onde:

E_{FE} : emissão total de CH₄ proveniente da fermentação entérica [Gg CH₄]

N_T : número total de cabeças por espécie e categoria animal T [nº de cabeças]

EF_T : fator de emissão de CH₄ por fermentação entérica da categoria de animal T [kg CH₄/animal/ano]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

O somatório dos resultados obtidos pelo cálculo das emissões municipais da equação 1 será equivalente ao resultado obtido com a aplicação da equação para o respectivo estado. No entanto, devido à ausência de banco de dados para parte das informações necessárias para o cálculo, em alguns casos foi necessária a adoção de processos ou uso de banco de dados diferentes para a realização do cálculo das emissões estadual e municipal, conforme apresentado a seguir.

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias geradoras de CH₄ via digestão de animais ruminantes (fermentação entérica) e monogástricos incluem: bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muares, asininos e suínos. Dada a contribuição da fermentação entérica no Inventário Nacional adotou-se o *Tier 2* para o cálculo da emissão dos bovinos. Dessa forma, há uma maior caracterização animal, o que em termos práticos representa a divisão da categoria de bovinos em bovinos de corte e bovinos de leite, que por sua vez são subdivididos por idade e sexo, e produtividade de leite, respectivamente, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de CH₄ decorrentes da Fermentação Entérica

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 ano < Bovinos < 2 anos
		Bovinos < 1 ano
	Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 L/vaca/ano)
		Baixa produção (< 2000 L/vaca/ano)
		Suínos
		Ovinos
		Bubalinos
		Caprinos
		Equinos
		Muares
		Asininos

Devido a subclassificação da população de bovinos, as etapas para obtenção dos dados de atividades foram diferentes das adotadas para a obtenção das populações das demais categorias.

SUÍNOS, BUBALINOS, OVINOS, CAPRINOS E EQUINOS

Dados de atividade estaduais

Os dados estaduais da população de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos foram obtidos através da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2023c) para o período de 1974 a 2023. Seus valores devem ser iguais ao somatório dos valores de todos os respectivos municípios para cada ano contabilizado.

Para os anos de 1970 a 1973 utilizou-se a porcentagem de participação de cada estado do ano de 1974, com os dados obtidos na Tabela 3939 (IBGE, 2023c), e multiplicou-se pelo valor total nacional reportado na base dados de Produtos Agrícolas e Pecuários (*Crops and livestock products*) da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (UN, 2021b) no ano correspondente. Assim, foi obtida a alocação do valor nacional entre os estados de acordo com o dado mais recente e disponível para consulta.

Para os demais dados dos anos das séries históricas dessas populações de animais em que foram obtidos valores zerados, quando necessárias, foram estimadas via interpolação dos valores, como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Interpolação dos valores necessários para composição da série histórica das populações animais

Exemplo de aplicação

Etapa 1: calculou-se o incremento da população animal entre os anos de 1970 e 1974.

1970 = 10 animais

1974 = 14 animais

Cálculo do incremento = (número de animais em 1974 – número de animais em 1970) / Anos do período

Cálculo do incremento = $(14 - 10) / 4 = 1$

Incremento de 1 animal por ano

Etapa 2: aplicou-se esse incremento para os anos que faltam, de 1971, 1972 e 1973, sequencialmente:

1971 = 1970 + incremento (1) = 11

1972 = 1971 + incremento (1) = 11 + 1 = 12

1973 = 1972 + incremento (1) = 12 + 1 = 13

Dados de atividade municipais

O processo de obtenção dos dados municipais das populações de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos foi o mesmo adotado para obtenção dos dados estaduais. Somando-se os resultados obtidos para os municípios, obtém-se os mesmos valores obtidos para o cálculo de seus respectivos estados.

MUARES E ASININOS

Dados de atividade estaduais

Para o período de 1974 a 2012, as populações de muares e asininos foram obtidas através dos mesmos processos e base de dados que foram utilizados para a obtenção das populações de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos.

Como o SIDRA não atualiza os dados de muares e asininos desde 2012, para o período de 2013 a 2023, os valores da população para cada estado brasileiro foram estimados por projeção dos valores, utilizando-se linguagem de programação Python. Os valores de cada estado foram obtidos de acordo com a metodologia do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE, conforme apresentado a seguir.

Para cada população, realizou-se uma estimativa através da média da diferença entre os anos dos últimos 5 anos disponíveis para cada estado (2008 até 2012), com o valor obtido sendo somado com o ano anterior. A equação a seguir apresenta a equação para a primeira projeção, realizada para o ano de 2013.

$$N_{T(n)} = \left[\frac{(N_{T(n-1)} - N_{T(2008)})}{n - 2008} \right] + N_{T(n-1)}$$

Equação 2

Onde:

$N_{T(n)}$: número total de cabeças de cada espécie para o ano n [nº de cabeças]

n : ano desejado, sendo $n > 2008$

$N_{T(n-1)}$: número total de cabeças de cada espécie por estado para o ano $n - 1$ [nº de cabeças]

$N_{T(2008)}$: número total de cabeças de cada espécie por estado no ano de 2008 [nº de cabeças]

Dados de atividade municipais

Os dados para o período de 1970 a 1973 estão disponíveis somente em nível estadual. Portanto, para a obtenção dos dados municipais foi necessário realizar um cálculo da proporção da população animal de cada categoria em relação ao respectivo estado para o ano de 1974. Na sequência, o valor foi multiplicado pela população total de seu respectivo estado para os anos de 1970, 1971, 1972 e 1974.

$$PROP_{mun1974} = \frac{N_{Tmun1974}}{N_{Test1974}}$$

Equação 3

$$N_{T_{mun}(1970-1973)} = PROP_{mun1974} \times N_{T_{est}(1970-1973)}$$

Equação 4

Onde:

$PROP_{mun1974}$: proporção da população animal em relação ao estado no ano de 1974 [%]

$N_{T_{mun1974}}$: população animal da categoria T para cada município no ano de 1974 [nº de cabeças]

$N_{T_{est1974}}$: população animal da categoria T do estado no ano de 1974 [nº de cabeças]

$N_{T_{mun}(1970-1973)}$: população animal da categoria T do município para o respectivo ano (de 1970 a 1972) [nº de cabeças]

$N_{T_{est}(1970-1973)}$: população animal da categoria T do estado para o respectivo ano (de 1970 a 1972) [nº de cabeças]

Para o período de 2013 a 2023 foram adotadas as duas etapas apresentadas a seguir.

Etapa 1:

Primeiramente foi calculada a média dos últimos 5 anos (2008 até 2012, para o ano de 2013) do percentual de participação de cada município em relação ao total do seu estado em cada ano. A equação abaixo foi utilizada para o cálculo da proporção:

$$PROP = \left[\frac{\left(\frac{N_{T_{mun2008}}}{N_{T_{est2008}}} \right) + \left(\frac{N_{T_{mun2009}}}{N_{T_{est2009}}} \right) + \left(\frac{N_{T_{mun2010}}}{N_{T_{est2010}}} \right) + \left(\frac{N_{T_{mun2011}}}{N_{T_{est2011}}} \right) + \left(\frac{N_{T_{mun2012}}}{N_{T_{est2012}}} \right)}{5} \right]$$

Equação 5

Onde:

$PROP$: proporção média dos últimos cinco anos da participação da população municipal na população estadual [%];

$N_{T_{mun}}$: número total de cada espécie por município para o ano indicado [nº de cabeças];

$N_{T_{est}}$ é o número total de cada espécie por estado para o ano indicado [nº de cabeças]

Etapa 2:

Nessa etapa, o valor obtido na Etapa 1 é multiplicado pela população total do seu respectivo estado para cada um dos anos, considerando o período de 2013 a 2023. A equação a seguir é uma representação do cálculo para o ano de 2013.

$$N_{T_{mun2013}} = PROP \times N_{T_{estado2013}}$$

Equação 6

Onde:

$N_{T_{mun2013}}$: população da categoria animal T do município para o respectivo ano [n° de cabeças]

$PROP$: proporção média dos últimos cinco anos da participação da população municipal na população estadual [%];

$N_{T_{estado2013}}$: população da categoria animal T do estado para o respectivo ano [n° de cabeças]

BOVINOS

Dados de atividade estaduais

Os dados de atividade estaduais da população de bovinos para o período de 1974 a 2023 foram obtidos através do SIDRA (IBGE) e Anuário da Pecuária Brasileira (ANUALPEC). Já para o período de 1970 a 1973, o processo de obtenção dos dados foi o mesmo que o realizado para as populações de suínos, bubalinos, ovinos, caprinos e equinos. Já a obtenção das subcategorias de bovinos foi realizada da seguinte forma:

Etapa 1:

Nesta etapa foram obtidas as categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros acima de 2 anos, bem como outros bovinos acima 2 anos + bovinos leiteiros, ambos através da Tabela 925 do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009).

Adotando os mesmos critérios utilizados no 4º Inventário Nacional, foi obtida a proporção de cada categoria em relação à população total. Essa proporção foi multiplicada pela população total de bovinos da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2023) para o período de 1974 a 2023, sendo obtidas assim o número de cabeças das categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros acima de 2 anos. Com esses dados foi possível realizar o cálculo da emissão de CH₄ para as respectivas categorias.

Etapa 2:

Através da população de outros bovinos acima de 2 anos + bovinos leiteiros, nesta etapa é obtida a população de outros bovinos acima de dois anos (confinados). Para isso é utilizada a população de vacas ordenhadas para o período de 1974 a 2023, disponível na Tabela 94 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2023d) e os dados sobre bovinos confinados para o período de 1983 a 2023, disponibilizados pelo ANUALPEC (FNP, 2023).

Os dados de bovinos confinados do ANUALPEC não estão disponíveis para todos os estados de forma individualizada, sendo agrupados como Outros estados. Para esses estados, foi necessária a multiplicação do número de bovinos confinados do ANUALPEC pela fração de distribuição de animais confinados por UF, de acordo com a metodologia do inventário. O valor obtido compõe os dados de outros bovinos acima de 2 anos (confinados) da Tabela Como os dados do ANUALPEC estão disponíveis somente a partir de 1983, para o período de 1970 a 1982 foi calculada a média da proporção dos últimos cinco anos (1983 a 1987),

resultante da divisão do valor de bovinos confinados (ANUALPEC) pelo total de bovinos (IBGE), para cada estado no respectivo ano.

$$PROP(1983 - 1987) = \frac{\text{bovinosconfinados}}{\text{bovinostotais}} (1983 - 1987)$$

Equação 7

Onde:

$PROP(1983 - 1987)$: média da proporção de bovinos confinados para o período de 1983 a 1987 [%]

bovinosconfinados : média da população de bovinos confinados para o período de 1983 a 1987 [nº de cabeças];

bovinostotais : média da população de bovinos totais para o período de 1983 a 1987 [nº de cabeças];

Após a obtenção da proporção de cada estado para cada ano de 1983 a 1987 foi obtido o percentual de participação do ano anterior no ano seguinte, através da equação:

$$\%PROP_n = \frac{PROP_{n-1} \times 100}{PROP_n}$$

Equação 8

Onde:

$\%PROP_n$: ano da série histórica (1983 a 1987), iniciando o cálculo para 1984.

$PROP_n$: proporção da população no ano n ;

$PROP_{n-1}$: proporção da população no ano $n - 1$

Com os quatro dados de $\%PROP_n$, foi calculada a média desses valores, o qual será multiplicado pelo valor de 1983 do estado correspondente.

$$\text{bovinosconfinados}(1970 - 1982) = \text{bovinosconfinados}_{n+1} \times \text{média}\%PROP_n$$

Equação 9

Onde:

$\text{bovinosconfinados}(1970 - 1982)$: população de bovinos confinados para o respectivo ano, compreendendo o período de 1970 a 1982 [nº de cabeças]

$\text{bovinosconfinados}_{n+1}$: população de bovinos confinados para o ano $n + 1$ [nº de cabeças]

$\text{média}\%PROP_n$: média do percentual de participação do ano anterior no ano [%]

Toda a série histórica composta pelos bovinos confinados é considerada na categoria outros bovinos acima de 2 anos (confinados), sendo utilizada para o cálculo da emissão de CH₄ dessa categoria.

Etapa 3:

Através da subtração do dado de outros bovinos acima de 2 anos + bovinos leiteiros é obtido o número de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados). Esse dado servirá de

base para a obtenção de bovinos fêmeas e machos acima de 2 anos. Para a obtenção de bovinos fêmeas acima de 2 anos é realizada a multiplicação do valor de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados) com a fração de fêmeas de bovinos de corte acima de 2 anos não confinados.

Com o número de fêmeas acima de 2 anos, obtém-se o número de machos acima de 2 anos subtraindo-se do valor de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados). Deste modo, é possível efetuar o cálculo da emissão de CH₄ dessas categorias.

Etapa 4:

Nesta etapa são obtidas as categorias de bovinos de leite de alta e baixa produtividade. Para isso são utilizadas como base nas Tabela 94 (IBGE, 2023d) e 74 (IBGE, 2023b), de Vacas Ordenhadas e Produção de leite, respectivamente, para o período de 1974 a 2023. Esses dados são obtidos em nível municipal através da equação 10:

$$\textit{Produtividade} = \frac{\textit{Produção de leite (L)}}{\textit{Número de vacas ordenhadas}}$$

Equação 10

Onde:

Produtividade: produtividade da produção de leite no respectivo ano [L/vaca/ano];

Produção de leite (L): produção de leite [Litros];

Número de vacas ordenhadas: número de vacas ordenhadas no ano [nº de cabeças/ano]

Será considerado como “**Alta produção**” a produtividade de cada município com valor igual ou acima de 2000 L/vaca/ano, já a Baixa produção será para produtividades inferiores a 2000 L/vaca/ano.

O resultado do número de vacas ordenhadas separado de acordo com a produtividade em nível estadual poderá ser aplicado à equação 1.

Dados de atividade municipais

Antes de realizarmos o cálculo das emissões de CH₄ por fermentação entérica em nível municipal faz-se necessário um ajuste (normalização) do número de vacas ordenhadas para que não haja valores negativos. Essa possibilidade ocorre devido a diferença de períodos em que foram realizadas as pesquisas do IBGE.

O primeiro passo do processo de normalização é feito através da obtenção do número de bovinos totais e vacas ordenhadas, das tabelas 3939 (IBGE, 2023c) e 94 (IBGE, 2023d), respectivamente, para cada estado e município. Para o período de 1990 a 2023, os dados de bovinos de corte (BC) para cada estado foram obtidos por meio da equação:

$$\text{Bovinos de corte (BC)} = \text{Bovinos totais (BT)} - \text{Vacas ordenhadas (VO)}$$

Equação 11

Onde:

Bovinos de corte (BC): população de bovinos de corte no ano [nº de cabeças]

Bovinos totais (BT): população de bovinos totais no ano [nº de cabeças]

Vacas ordenhadas (VO): população de vacas ordenhadas no ano [nº de cabeças]

Para esse mesmo período foi obtida a proporção de ajuste da população para cada estado, através de:

$$\text{Proporção de ajuste} = \frac{BC_{\text{estado}}}{BT_{\text{estado}}}$$

Equação 12

Onde:

Proporção de ajuste: proporção de ajuste da população de bovinos de corte por estado [%]

BC_{estado} : população de bovinos de corte por estado no ano [nº de cabeças]

BT_{estado} : população de bovinos totais por estado no ano [nº de cabeças]

Esse valor é então multiplicado pelo número de bovinos totais do município. Assim, é obtido o número de bovinos de corte do município (BC_{mun}) para o período de 1990 a 2023. Com a população de bovino de corte ajustada para cada município e a população de vacas ordenhadas do município da Tabela 94 (IBGE, 2023d), obtém-se um novo número de bovinos totais:

$$\text{Novo } BT_{\text{mun}} = BC_{\text{mun}} + VO_{\text{mun}}$$

Equação 13

Onde:

Novo BT_{mun} : população de bovinos totais por município no ano [nº de cabeças]

BC_{mun} : população de bovinos de corte por município no ano [nº de cabeças]

VO_{mun} : população de vacas ordenhadas por município no ano [nº de cabeças]

O novo valor de bovino total do município será utilizado na aplicação das etapas supracitadas para obtenção dos dados de atividade em nível município.

Etapa 1:

Para obtenção das categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros acima de 2 anos, esta etapa foi realizada como a etapa 1 para coleta de dados em nível estadual, porém aplicada aos municípios.

Etapa 2:

Os dados do ANUALPEC não são disponibilizados por município. Portanto os dados obtidos na etapa 2 para os estados são utilizados como base para a obtenção da população de outros bovinos acima de 2 anos (confinados) em nível municipal.

$$Bconfinados_{mun} = \frac{BC_{mun} \times BConfinados_{estado}}{BC_{estado}}$$

Equação 14

Onde:

$Bconfinados_{mun}$: população de bovinos confinados por município no ano [nº de cabeças]

BC_{mun} : população de bovinos de corte por município no ano [nº de cabeças]

$BConfinados_{estado}$: população de bovinos confinados por estado no ano [nº de cabeças]

BC_{estado} : população de bovinos de corte por estado no ano [nº de cabeças]

Feito isso, a etapa 2 é aplicada aos municípios de forma igual a descrita anteriormente, para os estados.

Etapa 3:

Através da subtração do dado de outros bovinos acima de 2 anos + bovinos leiteiros é obtido o número de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados). Esse dado servirá de base para a obtenção de bovinos fêmeas e machos acima de 2 anos.

Para a obtenção de bovinos fêmeas acima de 2 anos é realizada a multiplicação do valor de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados) com a fração de fêmeas de bovinos de corte acima de 2 anos não confinados. Com o número de fêmeas acima de 2 anos, obtém-se o número de machos acima de 2 anos subtraindo-se do valor de outros bovinos acima de 2 anos (não confinados). Deste modo, é possível efetuar o cálculo da emissão de CH₄ dessas categorias.

Fatores de emissão de CH₄ pela fermentação entérica (EF_T)

Os fatores de emissão utilizados para cada população animal e suas respectivas categorias foram extraídos do Relatório de Referência do Subsetor de Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020b). Como os fatores são apresentados por estado, para os municípios foram adotados os fatores correspondentes ao seu estado.

2.2 Manejo de dejetos de animais

Emissões de CH₄

O cálculo de emissões CH₄ anuais provenientes do manejo de dejetos de animais no período de 1970 a 2023 foi realizado com base na metodologia utilizada no Relatório de Referência do Subsetor Manejo de Dejetos do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE (BRASIL, 2020c), conforme a equação:

$$E_{MDCH_4} = \sum_T (N_T \times EF_T \times 10^{-6})$$

Equação 15

Onde:

E_{MDCH_4} : emissão total de CH₄ proveniente do manejo de dejetos animais [Gg CH₄]

N_T : número total de cabeças por espécie e categoria animal T [nº de cabeças]

EF_T : fator de emissão de CH₄ proveniente do manejo de dejetos, por categoria de animal T [kg/CH₄/animal/ano]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

O somatório dos resultados obtidos pelo cálculo das emissões municipais da equação 16 será equivalente ao resultado obtido com a aplicação da equação no respectivo estado. No entanto, devido à ausência de banco de dados para parte das informações necessárias para o cálculo, em alguns casos foi necessária a adoção de processos ou uso de banco de dados diferentes para a realização do cálculo das emissões estadual e municipal, conforme apresentado a seguir.

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias geradoras de CH₄ via manejo de dejetos incluem: bovinos, suínos, aves, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muares e asininos. Assim como em Fermentação Entérica, dada a contribuição da categoria de bovinos nas emissões foi realizado uma maior caracterização dessa categoria. Além disso, as categorias animais de suínos e aves têm uma contribuição expressiva nas emissões decorrentes de manejo de dejetos, portanto, houve um maior detalhamento dessas categorias na coleta de dados de atividade, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de CH₄ decorrentes do Manejo de Dejetos dos Animais

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 < Bovinos < 2 anos
	Bovinos < 1 ano	
	Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 litros de leite/vaca/ano)
		Baixa produção (< 2000 litros de leite/vaca/ano)
Suínos	Aleitamento/Creche	Industrial
		Subsistência
	Engorda	Industrial
		Subsistência
	Reprodutores	Industrial
		Subsistência
Aves		Galinhas
		Galos, frangos e pintos
		Codornas
		Ovinos
		Bubalinos
		Caprinos
		Equinos
		Muare
		Asininos

Dados de atividade: População animal (N_T)

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias geradoras de CH₄ através do manejo de dejetos incluem aquelas consideradas em fermentação entérica (vacas leiteiras, bovinos de corte, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muare, asininos e suínos) além das aves (galinhas, galos, frangos, frangas, pintos e codornas).

Portanto, para o cálculo das emissões de CH₄ através do manejo de dejetos, adotou-se a mesma base de dados de população animal utilizada em fermentação entérica, acrescida da população de aves para cada estado. Adicionalmente, foi necessário separar a população de suínos entre de aleitamento/creche, engorda e reprodutores, sendo que cada divisão é subdividida entre industrial e de subsistência, uma vez que essas possuem diferentes fatores de emissão de CH₄ pelo manejo de dejetos (BRASIL, 2020c).

BOVINOS, BUBALINOS, CAPRINOS, EQUINOS, MUARES E ASININOS

O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais das populações de bovinos (bovinos de corte e de leite) bubalinos, caprinos, equinos, muares e asininos foi o mesmo adotado para a obtenção das respectivas populações no cálculo das emissões de fermentação entérica.

SUÍNOS

Dados de atividade estaduais

Os dados estaduais da população de suínos foram obtidos através da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2023c) para o período de 1970 a 2023. Seus valores devem ser iguais ao somatório dos valores de todos os respectivos municípios para cada ano contabilizado. Para o período de 1970 a 2012 foram utilizados os dados referentes a suínos totais (ST) da Tabela 3939. A partir de 2013, os dados de suínos além de serem expressos pela categoria de Suínos Total (ST), também são disponibilizados na forma Suínos – matrizes de suínos (SM), a qual foi adotada para o período de 2013 a 2023.

Etapa 1:

Nesta etapa foi obtida a população de suínos reprodutores (SR) através da multiplicação de sua respectiva fração nas categorias ST e SM, obtida da Tabela 15 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

$$\text{Suínos Reprodutores (SR)}_{1970-2012} = ST_{1970-2012} \times FRAC_{ST}$$

Equação 16

$$\text{Suínos Reprodutores (SR)}_{2013-2023} = SM_{2013-2023} \times FRAC_{SM}$$

Equação 17

Onde:

$SuinosReprodutores(SR)_{1970-2012}$: população de suínos reprodutores (SR) para o respectivo ano no período de 1970 a 2012 [nº de cabeças]

$SuinosReprodutores(SR)_{2013-2023}$: população de suínos reprodutores (SR) para o respectivo ano no período de 2013 a 2023 [nº de cabeças]

$ST_{1970-2012}$: população de suínos totais para o respectivo ano no período de 1970 a 2012 [nº de cabeças]

0: população de suínos – matrizes de suínos para o respectivo ano no período de 2013 a 2023 [nº de cabeças]

$FRAC_{ST}$: fração de suínos reprodutores na população de suínos totais [%]

$FRAC_{SM}$: fração de suínos – matrizes de suínos na população de suínos totais [%]

Com a população de suínos de abate foi possível calcular a população de suínos de aleitamento/creche (SC) e suínos de engorda (SE). Para esse cálculo foram utilizadas as proporções de duração de cada fase adotadas no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

$$Suinos\ Aleitamento/creche_{1970-2023} = SA_{1970-2023} \times Prop_{aleitamento}$$

Equação 18

$$Suinos\ Engorda_{1970-2023} = SA_{1970-2023} \times Prop_{engorda}$$

Equação 19

Onde:

$Suinos\ Aleitamento/creche_{1970-2023}$: população de suínos em aleitamento/creche para o respectivo ano [nº de cabeças]

$Suinos\ Engorda_{1970-2023}$: população de suínos em fase de engorda para o respectivo ano [nº de cabeças]

$SA_{1970-2023}$: população de suínos de abate para o respectivo ano [nº de cabeças]

$Prop_{aleitamento}$: proporção de suínos de abate em fase de aleitamento-creche [37%]

$Prop_{engorda}$: proporção de suínos de abate em fase de engorda [63%]

Etapa 2:

Nesta etapa as populações de Suínos Reprodutores (SR), Suínos de Aleitamento/Creche (SC) e Suínos de Engorda (SE) são divididas nas subcategorias Industriais e de Subsistência.

Para a população de Suínos Reprodutores (SR), deve-se multiplicar SR pela sua respectiva proporção ($Prop_{industrial}$), para assim obter a população de Suínos Reprodutores Industriais ($SR_{industrial}$). Os dados de proporção utilizados foram retirados da Tabela 16 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Como os dados da Tabela 16 estão disponíveis a partir do ano de 1990, para o período de 1970 a 1989 foi adotado o dado

de 1990. Depois de obtidos os Suínos Reprodutores Industriais ($SR_{industrial}$), esses valores devem ser subtraídos de Suínos Reprodutores (SR), resultando na população de Suínos Reprodutores de Subsistência ($SR_{subsistência}$).

$$SR_{industrial} = SR \times Prop_{industrial}$$

Equação 20

Onde:

$SR_{industrial}$: população de Suínos Reprodutores Industriais [nº de cabeças]

SR: população de Suínos Reprodutores [nº de cabeças]

$PROP_{industrial}$: proporção de Suínos Reprodutores na categoria industrial para o respectivo ano [%]

$$SR_{subsistência} = SR - SR_{industrial}$$

Equação 21

Onde:

$SR_{subsistência}$: população de Suínos Reprodutores de Subsistência (nº de cabeças)

SR: população de suínos reprodutores (nº de cabeças)

$SR_{industrial}$: população de Suínos Reprodutores Industriais (nº de cabeças)

Para a população de Suínos de Aleitamento/Creche (SC), deve-se multiplicar SC pela sua respectiva proporção ($PROP_{industrial}$, para assim obter a população de Suínos de Aleitamento/Creche Industriais ($SC_{industrial}$). Os dados de proporção utilizados foram retirados da Tabela 17 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Como os dados da Tabela 17 estão disponíveis a partir do ano de 1990, para o período de 1970 a 1989 foi adotado o dado de 1990.

Depois de obtidos os Suínos Aleitamento/Creche Industriais ($SC_{industrial}$), esses valores devem ser subtraídos de Suínos Aleitamento/Creche (SC), resultando na população de Suínos Aleitamento/Creche de Subsistência ($SC_{subsistência}$).

$$SC_{industrial} = SC \times Prop_{industrial}$$

Equação 22

Onde:

$SC_{industrial}$: população de Suínos de Aleitamento/Creche industriais [nº de cabeças]

SC: população de Suínos de Aleitamento/Creche [nº de cabeças]

$Prop_{industrial}$: proporção de Suínos de Aleitamento/Creche na categoria industrial para o respectivo ano.

$$SC_{subsistência} = SC - SC_{industrial}$$

Equação 23

Onde:

$SC_{subsist\ência}$: população de Suínos de Aleitamento/Creche de Subsistência [nº de cabeças]

SC : população de Suínos de Aleitamento/Creche [nº de cabeças]

$SC_{industrial}$: população de Suínos de Aleitamento/Creche industriais [nº de cabeças]

Assim como realizado para a população de Suínos Reprodutores e Suínos de Aleitamento/Creche, para a população de Suínos de Engorda (SE), deve-se multiplicar SE pela sua respectiva proporção ($PROP_{industrial}$), para assim obter a população de Suínos de Engorda Industriais ($SE_{industrial}$). Os dados de proporção utilizados foram retirados da Tabela 17 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Como os dados da Tabela 17 estão disponíveis a partir do ano de 1990, para o período de 1970 a 1989 foi adotado o dado de 1990.

Depois de obtidos os Suínos de Engorda Industriais ($SE_{industrial}$), esses valores devem ser subtraídos de Suínos de Engorda (SE), resultando na população de Suínos de Engorda de Subsistência ($SE_{subsist\ência}$).

$$SE_{industrial} = SE \times PROP_{industrial}$$

Equação 24

Onde:

$SE_{industrial}$: população de Suínos de Engorda industriais [nº de cabeças]

SE : população de Suínos de Engorda [nº de cabeças]

$PROP_{industrial}$: proporção de Suínos de Engorda na categoria industrial para o respectivo ano [%].

$$SE_{subsist\ência} = SE - SE_{industrial}$$

Equação 25

Onde:

$SE_{subsist\ência}$: população de Suínos de Engorda de subsistência [nº de cabeças]

SE : população de Suínos de Engorda [nº de cabeças]

$SE_{industrial}$: população de Suínos de Engorda industriais [nº de cabeças]

Dados de atividade municipais

O processo de obtenção dos dados municipais das populações de Suínos, incluindo a classificação em Suínos Reprodutores, Suínos de Abate, Suínos de Aleitamento/Creche e Suínos de Engorda e a subdivisão em Industriais e de Subsistência foi o mesmo adotado para obtenção dos dados estaduais. Somando-se os resultados obtidos para os municípios, obtêm-se os mesmos valores obtidos para o cálculo de seus respectivos estados.

AVES

Dados de atividade estaduais

O cálculo das emissões de CH₄ provenientes do Manejo de Dejetos para a população de aves é subdividido nas categorias de galinhas, galos, frangos e pintos e codornas. A obtenção dos dados de atividade estaduais ocorre através das seguintes etapas:

Etapa 1:

Primeiramente, deve-se obter a base de dados que compõem Aves, através da Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2023c) para o período de 1974 a 2023. Nela foram selecionados os dados de Galináceos - total (GT), Galináceos - galinhas (GG) e Codornas (CD). Seus valores devem ser iguais ao somatório dos valores de todos os respectivos municípios para cada ano contabilizado.

Etapa 2:

Nessa etapa são obtidas as populações de Galinhas Poedeiras (GP), Galos, frangos e pintos (GL) e de Codornas (CD). Para cada uma dessas categorias, deve-se seguir as seguintes considerações:

$$GP = GG$$

Equação 26

$$GL = GT - GG$$

Equação 27

$$CD = CD$$

Equação 28

Dados de atividade municipais

O processo de obtenção dos dados municipais da população Aves, incluindo a classificação em galinhas, galos, frangos e pintos e codornas foi o mesmo adotado para obtenção dos dados estaduais. Somando-se os resultados obtidos para os municípios, obtêm-se os mesmos valores obtidos para o cálculo de seus respectivos estados.

FATORES DE EMISSÃO DE CH₄ (EF_T)

Os fatores de emissão utilizados encontram-se disponíveis na seção 2.2 do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c). Esse documento apresenta fatores de emissões anuais de metano nível *Tier 2* (IPCC, 1996; 2006) para cada categoria de bovinos (corte e vacas leiteiras) e suínos (de aleitamento/creche, engorda e reprodutores) por estado para o período de 1990 a 2016 (BRASIL, 2021d). Os fatores de emissão apresentados para 1990 e 2016 foram utilizados para o cálculo de emissões anuais para os períodos de 1970-1990 e 2016-2023, respectivamente.

Para as categorias asininos, muares, bubalinos, caprinos, equinos, ovinos e aves, o Relatório de Referência (BRASIL, 2020c) apresenta fatores de emissão indicados como *default* para a equação *Tier 1* do IPCC (*Guidelines 1996*) para cada estado, os quais foram aplicados no período de 1970 a 2023.

EMISSÕES DIRETAS DE N₂O

O cálculo das emissões diretas de N₂O anuais por manejo de dejetos animais no período de 1970-2023 para cada categoria animal baseou-se na metodologia utilizada no Relatório de Referência do 4º Inventário Brasileiro de Emissões (BRASIL, 2020c) e é dado pela seguinte equação:

$$E_{MDd_{N_2O}} = \left\{ \sum_S \left[\sum_T (N_T \times N_{ext} \times MS_{T,S}) \right] \times EF_{3S} \right\} \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 29

Onde:

$E_{MDD_{N_2O}}$: emissão direta total de N_2O proveniente dos dejetos de animais submetidos a tratamento (não depositados diretamente em pastagem) [Gg N_2O]

N_T : é a população da categoria animal T [número de cabeças]

N_{ex_T} : quantidade de nitrogênio excretado da categoria animal T [kg N/animal/ano]

$MS_{(T,S)}$: sistema de manejo de dejetos S para cada categoria T [%]

EF_{3_S} : fator de emissão específico do sistema de manejo de dejetos S utilizado [kg N_2O -N/kg N]

F_c : fator de conversão de N em N_2O [44/28]

10^{-6} : é o fator de conversão de kg para Gg

A quantidade de nitrogênio (N) excretado ($N_{ex(T)}$) foi obtida através da equação:

$$N_{ex_T} = N_{rate(T)} \times \frac{TAM}{1000}$$

Equação 30

Onde:

$N_{ex(T)}$: quantidade de N excretado por espécie e categoria de rebanho T [kg N/animal/ano];

$N_{rate(T)}$: taxa de excreção por categoria animal [kg N/animal/ano];

TAM : peso vivo para cada categoria animal [kg/cabeça animal]

As taxas de excreção de nitrogênio ($N_{ex(T)}$) encontram-se disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

Dados de atividade: População animal (N_T)

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias geradoras de emissões diretas de N_2O no manejo de dejetos utilizam como base de dados populacionais as divisões apresentadas na Tabela 4 abaixo, uma vez que possuem diferentes taxas de excreção de nitrogênio (BRASIL, 2021d), as quais influenciam diretamente as emissões de N_2O .

Tabela 4 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de CH₄ decorrentes do Manejo de Dejetos dos Animais

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA
Bovinos	Bovinos de corte	Outros animais > 2 anos (confinados)
	Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 L/vaca/ano)
		Baixa produção (< 2000 L/vaca/ano)
Suínos	Aleitamento/Creche	Industrial
		Subsistência
	Engorda	Industrial
		Subsistência
	Reprodutores	Industrial
		Subsistência
Aves	Galinhas	
	Galos, frangos e pintos	
	Codornas	

Portanto, para o cálculo das emissões de N₂O através do manejo de dejetos por estado e município, adotou-se a mesma base de dados de população animal de bovinos utilizada em fermentação entérica, acrescida da população de aves e suínos utilizadas no cálculo das emissões de CH₄ de manejo de dejetos

Fatores de Emissão de N₂O ($EF_{3(S)}$)

O fator de emissão de N₂O pelo dejetos animal submetido a diferentes sistemas de manejo de dejetos, que variam de 0,1% a 2% do N contido nos dejetos, encontra-se disponível no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

E

missões indiretas de N₂O

O cálculo das emissões indiretas de N₂O anuais por manejo de dejetos animais no período de 1970-2023 baseou-se na metodologia utilizada no Relatório de Referência do 4º Inventário Brasileiro de Emissões (BRASIL, 2020c) e é dado pelas equações apresentadas a

seguir. A somatória das emissões de todos os municípios de um estado específico deve ser igual ao valor obtido daquele estado, obtido através do cálculo no nível estadual.

$$E_{MDi_{N_2O}} = (N_{volatilizado} \times EF_4) \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 31

Onde:

$E_{MDi_{N_2O}}$: emissão indireta total de N_2O proveniente dos dejetos de animais submetidos a tratamento (não depositados diretamente em pastagem), por categoria animal T [Gg N_2O]

$N_{volatilizado}$: quantidade de nitrogênio (N) volatilizada [kg]

EF_4 : fator de emissão específico do sistema de manejo de dejetos [para emissão indireta é adotado o valor *default* de 0,01 kg N_2O -N/kg N, independentemente do tipo de manejo utilizado]

F_C é o fator de conversão de N em N_2O [44/28]

Já a quantidade de nitrogênio volatilizada ($N_{volatilizado}$) é dada por:

$$N_{volatilizado} = \left\{ \sum_S \left[\sum_T (N_T \times N_{ext} \times MS_{T,S}) \right] \times \frac{Frac_{Gas\ MS_{T,S}}}{100} \right\}$$

Equação 32

Onde:

$N_{volatilizado}$: quantidade de nitrogênio volatilizado [kg N]

N_T : população da categoria animal T [n° de cabeças]

N_{ext} : quantidade de nitrogênio excretado da categoria animal T [kg N/animal/ano]

$MS_{T,S}$: sistema de manejo de dejetos S para cada categoria T [%]

$Frac_{Gas\ MS_{T,S}}$: fração de nitrogênio do dejetos manejado que volatiliza para cada tipo de manejo S de categoria T;

$MS_{(T,S)}$: sistema de manejo de dejetos específico para cada espécie e categoria [%]

Dados de atividade: População animal (N_T)

As categorias de animais que constituem a base das atividades pecuárias geradoras de emissões indiretas de N_2O através do manejo utilizam a mesma base de dados populacionais das emissões diretas de N_2O através do manejo para os estados e municípios.

Fatores de emissão e constantes

Os fatores de emissão utilizados para os cálculos das emissões diretas e indiretas foram especificados nas tabelas de suporte, N_{ext} , $MS_{T,S}$, $MS_{(T,S)}$, EF_4 e $Frac_{Gas\ MS_{T,S}}$ encontram-se disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020c).

Os sistemas de manejo em lagoas anaeróbicas e biodigestores não produzem N₂O em função das condições extremas de potencial de oxirredução. Considerou-se que os dejetos das categorias animais: bovinos não confinados, ovinos, bubalinos, equinos, muares e asininos são depositados diretamente em pastagens, e desta maneira, as emissões de N₂O provenientes das categorias animais supracitadas são reportadas no subsetor “3.D - Solos Manejados”.

2.3 Cultivo de arroz

O cultivo de arroz irrigado é precursor das emissões de CH₄. A estimativa de emissões para o cultivo de arroz, por regime de cultivo foi calculada de acordo com a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020d), de acordo com a seguinte equação:

$$E_{CA} = \sum_{j,i,k} (EF_{j,i,k} \times t_{j,i,k} \times A_{j,i,k} \times 10^{-6})$$

Equação 33

Onde:

E_{CA} : emissão de metano pelo cultivo de arroz [Gg de CH₄/ano]

$EF_{j,i,k}$: fator de emissão diário para as condições j, i, k [kg CH₄/ha/dia]

$t_{j,i,k}$: período de cultivo do arroz para as condições i, j, e k [dia]

$A_{j,i,k}$: área de arroz colhida anualmente, para as condições i, j, e k [ha/ano]

10^{-6} : fator de conversão de [kg para Gg]

i, j e k : representam os diferentes ecossistemas, regimes de manejo da água, tipo e quantidade de material orgânico e outras condições que podem influenciar as emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz.

Dados de atividade: Área de arroz colhida ($A_{j,i,k}$)

Para a obtenção da área de arroz colhida anualmente foram utilizados dois processos: um para o estado do Rio Grande do Sul, principal produtor de arroz do país, respondente por aproximadamente 80% da produção nacional; e um processo para os demais estados. Essa diferenciação nos processos foi aplicada na coleta dos dados estaduais e municipais. Para o cultivo do arroz irrigado são adotados três tipos de regimes: regime contínuo, regime intermitente com aeração múltipla e regime intermitente com aeração única. Devido a ausência de dados de regime intermitente para todo o período, o cálculo das emissões de CH₄ decorrentes do cultivo de arroz considera somente o regime permanente.

Dados de atividade estaduais

Rio Grande do Sul - Para a obtenção dos dados da área cultivada e produção de arroz do estado do RS foram utilizados diferentes bancos de dados de acordo com a disponibilidade por período.

Para o período de 1990 a 2016 foram utilizadas as áreas dos três regimes de irrigação disponibilizadas no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Já para os períodos de 1970 a 1989 e 2017 a 2023 foram utilizados a área e produção de arroz irrigado do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2023).

Demais estados - Para a obtenção dos dados da área cultivada e produção de arroz estaduais foram utilizados diferentes bancos de dados de acordo com a disponibilidade por período.

Para o período de 1990 a 2016 foram utilizadas as áreas dos três regimes de irrigação disponibilizadas no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020d). Para os períodos de 1986 a 1989 e de 2017 a 2023 foram utilizados os dados de área de arroz irrigado e produção disponibilizados pela Embrapa Arroz e Feijão (Embrapa, 2023). Já para o período de 1974 a 1987 foram utilizados os dados de área de arroz e produção da Tabela 5457 da pesquisa de Produção Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2023a) e para os anos de 1970 a 1973 foi realizada a alocação da área e produção de arroz irrigado nacional para o ano correspondente disponibilizados pela FAO (UN, 2021b) com a proporção da área e produção do estado para o ano de 1974.

Dados de atividade municipais

Para a obtenção dos dados da área cultivada e produção de arroz dos municípios do Rio Grande do Sul e demais estados foi realizada a alocação da área e produção obtidas por estado nas bases de dados supracitadas, por meio da multiplicação desse dado pela proporção da área e produção de arroz do município correspondente em relação ao total do estado com base na Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2023a), conforme equação a seguir.

$$\mathit{Área}_{mun} = \frac{\mathit{Área\ total}_{estado\ (FAO,IBGE,4^{\circ}\ IN,IRGA)} \times \mathit{Área\ total}_{município\ (IBGE)}}{\mathit{Área\ total}_{estado\ (IBGE)}}$$

Equação 34

Como os dados estaduais do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020d) estão disponíveis por regime de irrigação, a equação acima foi aplicada para cada tipo de regime para o período em que os dados estaduais utilizados são dessa base de dados.

Estimativa do Fator de emissão ($EF_{j,i,k}$)

O fator de emissão diário ($EF_{j,i,k}$) utilizado no cálculo do CH_4 decorrente do cultivo de arroz foi obtido através da equação, segundo o Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020d).

$$EF_{j,i,k} = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o$$

Equação 35

Onde:

$EF_{j,i,k}$: fator de emissão diário para as condições j, i, k [kg CH_4 /ha/dia];

EF_c : fator de emissão da linha de base para áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação contínua, sem aporte de matéria-orgânica [1,3 kg CH_4 /ha/dia];

SF_w : fator de escala de regime hídrico antes do cultivo [1,0 para regime contínuo, 0,6 para regime intermitente por aeração única e 0,52 para regime intermitente por aeração múltipla, adimensional]

SF_p : fator de escala de regime hídrico na entressafra [0,68, adimensional]

SF_o : fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo [calculado, adimensional]

As constantes utilizadas no cálculo do fator de emissão foram extraídas do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020d). Para obtenção do fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo (SF_o) foi utilizada a equação a seguir, seguindo o Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020d).

$$SF_o = [1 + (ROA \times CFOA)]^{0,59}$$

Equação 36

Onde:

SF_o : fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo [adimensional]

ROA : dose de material orgânico aplicado (palha de arroz e demais resíduos) [ton/ha];

$CFOA$: fator de conversão para aporte de material orgânico (aplicação de palha de arroz imediatamente antes do cultivo) [1,0 adimensional]

Por sua vez a dose de material orgânico aplicado (ROA) é obtido através da equação:

$$ROA = P \times 0,8$$

Equação 37

Onde:

ROA : dose de material orgânico aplicado (palha de arroz e demais resíduos) [ton/ha];

P : produtividade média do regime, calculado através da divisão da produção pela área de arroz irrigado colhido [ton/ha];

0,8: considerado 80% de produtividade do regime

Para o cálculo da produtividade são utilizados os dados de área e produção de arroz irrigado obtidos previamente, conforme detalhado em Dados de Atividade.

2.4 Fertilizantes orgânicos

Aplicação de vinhaça como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões de N₂O diretas pela aplicação de vinhaça ao campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020d) de acordo com a seguinte equação:

$$E_V = \sum (P_E \times P_{EV} \times N_V \times 10^3) \times FE_v \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 38

Onde:

E_V : emissões de N₂O diretas pela aplicação de vinhaça ao campo [Gg de N₂O]

P_E : produção de etanol [mil m³]

P_{EV} : proporção da produção de vinhaça e etanol [L de vinhaça/L de etanol]

N_V : quantidade de nitrogênio contida na vinhaça [kg N/m³ de vinhaça]

10³ : fator de conversão de m³ para L

FE_v : fator de emissão direta de N₂O pela aplicação de vinhaça ao campo [kg N-N₂O por kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10⁻⁶ : fator de conversão de kg para Gg

DADOS DE ATIVIDADE DA PRODUÇÃO DE VINHAÇA

Dados de atividade estaduais

A quantidade de vinhaça, um subproduto do processo de fabricação de etanol a partir da cana-de-açúcar que é aplicado como adubo orgânico, foi estimada com base na produção de etanol (PE) de cada estado para o período de 1970 a 2023.

Para o período de 1970 a 1980, a produção de etanol foi estimada com base nos dados publicados no Balanço Energético Nacional (BEN) (BRASIL, 2021). No entanto, os dados disponibilizados correspondem ao total de etanol produzido pelo país, sendo necessário a aplicação das etapas a seguir para obtenção dos dados estaduais.

Etapa 1:

Calculou-se a proporção média da produção de etanol por estado no período entre 1981 e 1990 em relação à quantidade total consumida no Brasil. Foi adotada a média para minimizar o efeito de anos atípicos ou diferentes condições de produção que mudam ao longo do tempo.

Etapa 2:

Multiplicou-se essa proporção calculada de cada estado pela quantidade total de etanol produzido no Brasil fornecida pelo BEN, obtendo-se assim a produção estadual de etanol.

Para o período de 1981 a 2023 as produções estaduais de etanol foram obtidas diretamente do banco de dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2023).

Dados de atividade municipais

Os bancos de dados do BEN e da UNICA disponibilizam as informações em uma base estadual. Portanto, para a obtenção da produção de etanol por município foi realizada uma estimativa com base na produção de cana-de-açúcar disponibilizada na Tabela 6957 do Censo Agropecuário (IBGE, 2017b), conforme equação a seguir.

$$P_{E_{municipal}} = \frac{P_{C_{municipal}} \times P_{E_{estadual}}}{P_{C_{estadual}}}$$

Equação 39

Onde:

$P_{E_{municipal}}$: produção de etanol municipal [mil m³]

$P_{C_{municipal}}$: produção de cana-de-açúcar municipal [toneladas]

$P_{E_{estadual}}$: produção de etanol estadual [mil m³]

$P_{C_{estadual}}$: produção de cana-de-açúcar estadual [toneladas]

Proporção de produção de vinhaça e etanol (P_{VE}) e quantidade de N contida na vinhaça (N_V)

O valor da proporção de vinhaça para cada litro de etanol produzido e a quantidade de N contido na vinhaça utilizada adotado foi 11,5 L e 0,433 kg N/m³, respectivamente conforme utilizado no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Fator de Emissão de N₂O (FE_V)

Para o cálculo das emissões diretas de N₂O utilizou-se um fator de emissão direta de N₂O (FE_V) de 0,52% por kg de nitrogênio aplicado ao campo via vinhaça, de acordo com o Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Segundo o Relatório (BRASIL, 2020e), não há perdas significativas por volatilização do nitrogênio contido na vinhaça e aplicado ao campo, mas sim por lixiviação e escoamento superficial, como discutido a seguir.

Aplicação de torta de filtro como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões de N₂O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo como adubo orgânico, foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), de acordo com a seguinte equação:

$$E_{Tf} = \sum \left((P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TfG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CFE} \times T_{TfG}) + (P_E \times 10^3 \times T_{CFE} \times T_{TfG}) \right) \times TN_{Tf} \times 10^3 \times FE_v \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 40

Onde:

E_{Tf} : emissões de N₂O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N₂O]

P_A : produção de açúcar [mil toneladas]

P_E : produção de etanol [mil m³]

T_{CF} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de açúcar [8,5 ton cana-de-açúcar/ton de açúcar]

T_{TfG} : quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada [0,04 ton torta de filtro/ton de cana-de-açúcar]

V_{ER} : quantidade de etanol residual proveniente da produção de açúcar [0,085 m³/ton açúcar]

T_{CFE} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m³ etanol]

TN_{Tf} : teor de N da torta de filtro [0,015 kg N/kg de torta de filtro]

FE_v : fator de emissão direta de N₂O pela aplicação de vinhaça ao campo [kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : Fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: Produção de Torta de Filtro

A quantidade de torta de filtro, um subproduto do processo de fabricação de etanol e açúcar a partir da cana-de-açúcar que é aplicado como adubo orgânico, foi estimada com base na produção de açúcar (P_A) e etanol (P_E) de cada estado para o período de 1970 a 2023.

Dados de atividade estaduais

O processo de obtenção dos dados estaduais da produção de etanol para o cálculo das emissões do uso da torta de filtro foi o mesmo adotado para a obtenção da produção de etanol para o uso de vinhaça.

Já os dados de produção de açúcar em nível estadual para o período de 1970 até 1980 foram obtidos através do Balanço Nacional da Cana-de-Açúcar e Agroenergia (BRASIL,

2007). Para o período de 1981 a 2023 as produções estaduais de açúcar foram obtidas diretamente do banco de dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2023).

Dados de atividade municipais

O processo de obtenção dos dados municipais da produção de etanol para o cálculo das emissões do uso da torta de filtro foi o mesmo adotado para a obtenção da produção de etanol para o uso de vinhaça.

O mesmo processo foi adotado para a obtenção da produção de açúcar em nível municipal, como apresentado a seguir, no qual foi realizada uma estimativa com base na produção de cana-de-açúcar disponibilizada na Tabela 6957 do Censo Agropecuário (IBGE, 2017b), conforme equação a seguir.

$$P_{A_{municipal}} = \frac{P_{C_{municipal}} \times P_{A_{estadual}}}{P_{C_{estadual}}}$$

Equação 41

Onde:

$P_{A_{municipal}}$: produção de açúcar municipal [mil toneladas]

$P_{C_{municipal}}$: produção de cana-de-açúcar municipal [toneladas]

$P_{A_{estadual}}$: produção de açúcar estadual [mil toneladas]

$P_{C_{estadual}}$: produção de cana-de-açúcar estadual [toneladas]

Fator de emissão e variáveis

As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.5 Dejetos animais aplicados em solos agrícolas

Para a estimativa das emissões diretas de N₂O decorrentes da aplicação direta de esterco no campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a seguinte equação:

$$E_E = N_T \times Nex_t \times \sum_S (MS_{TS} \times (1 - Frac_{loss\ ms}) \times F_C \times 10^{-6})$$

Equação 42

Onde:

E_E : emissão direta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N₂O]

N_T : população animal por categoria animal T [nº de cabeças]

Nex_t : quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal T [kg N/categoria animal]

MS_{TS} : sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal [%]

$Frac_{loss\ ms}$: fator de perda de nitrogênio – inclui as perdas de nitrogênio desde o local ocupado até o local de manejo de dejetos [%]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de atividade

As categorias animais consideradas no cálculo das emissões provenientes da aplicação de esterco no campo são compostas dos bovinos, suínos e aves, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões diretas de N₂O decorrentes da aplicação de esterco como adubo orgânico

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 < Bovinos < 2 anos
	Bovinos < 1 ano	
Bovinos de leite	Alta produção (≥ 2000 litros de leite/vaca/ano)	
	Baixa produção (< 2000 litros de leite/vaca/ano)	
Suínos	Aleitamento/Creche	Industrial
		Subsistência

	Engorda	Industrial
		Subsistência
	Reprodutores	Industrial
		Subsistência
Aves		Galinhas
		Galos, frangos e pintos
		Codornas

População animal

O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais das populações de bovinos (bovinos de corte e de leite), suínos (Aleitamento/Creche, Engorda e Reprodutores e Aves) foi o mesmo adotado para a obtenção das respectivas populações no cálculo das emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos animais.

Fatores de emissão e variáveis

Os fatores de emissão e demais variáveis utilizados no cálculo foram obtidos dos Relatórios de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões para o subsetor Manejo de Dejetos (BRASIL, 2020c) e subsetor de Solos Manejados (BRASIL, 2020e).

2.6 Dejetos animais deixados em pastagem

Para a estimativa das emissões de N₂O diretas decorrentes da deposição de dejetos de animais no campo como adubo orgânico foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a seguinte equação:

$$E_{DP} = \sum (N_T \times N_{exT} \times MS_T \times EF_{3PRP}) \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 43

Onde:

E_{DP} : emissões diretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N₂O];

N_T : população da categoria animal T [nº de cabeças];

N_{exT} : quantidade de nitrogênio excretada por categoria animal T [kg N/animal/ano];

MS_T : fração do nitrogênio total excretado diretamente em pastagens por categoria animal T [%];

EF_{3PRP} : fator de emissão direta de N₂O por dejetos de animais depositados diretamente em pastagens por categoria animal T [kg N-N₂O/kg de N aplicado];

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: População animal (N_T)

Os dados chave para a estimativa de emissões diretas de N₂O pelos dejetos de animais depositados diretamente em pastagem inclui a população dos rebanhos de vacas leiteiras, bovinos de corte (touros, jovens, bezerros, machos > 2 anos não confinados e fêmeas > 2 anos não confinadas), suínos de subsistência (aleitamento/creche, engorda e reprodutores), bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muares e asininos, conforme Tabela 6 apresentada a seguir.

Tabela 6 - Categorias animais consideradas no cálculo das emissões de N₂O decorrentes da deposição de dejetos de animais diretamente no solo

POPULAÇÃO ANIMAL		CATEGORIA ANIMAL
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		1 ano < Bovinos < 2 anos
		Bovinos < 1 ano
Suínos	Subsistência	Aleitamento/Creche
		Engorda
		Reprodutores
		Ovinos
		Bubalinos
		Caprinos
		Equinos
		Muare
		Asininos

Tanto para os dados de atividade estaduais quanto para as municipais foram utilizadas as populações obtidas para o cálculo das emissões de Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos.

N excretado (N_{ext}) e fração depositada em pastagens (MS_T)

A quantidade de N excretada (kg N/animal/ano) e a fração dessa quantidade que é depositada diretamente em pastagens para cada tipo de animal foram as mesmas adotados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Essas frações foram utilizadas para calcular a porcentagem do N excretado que é depositado diretamente em pastagens.

Fator de emissão de N₂O (EF_{3PRP})

Para o cálculo das emissões diretas de N₂O por dejetos depositados diretamente em pastagens, utilizou-se um fator de emissão direta de N₂O (EF_{3PRP}) de 1,0% até 1,5% por kg de nitrogênio contido no dejetos animal usado como adubo, descontada a perda por volatilização, de acordo com o Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), sendo especificado para cada categoria animal.

2.7 Fertilizantes sintéticos

Para a estimativa das emissões diretas por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a seguinte equação:

$$E_{FSNO} = \left(N_{fert} - \left((N_{ureia} \times FRAC_{3GASF(ureia)}) + (N_{outros} \times FRAC_{3GASF(outros)}) \right) \right) \times EF_1 \times F_c \times 10^{-3}$$

Equação 44

Onde:

E_{FSN} : emissões diretas de N₂O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N₂O]

N_{fert} : quantidade de N em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de N]

N_{ureia} : quantidade de ureia em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de ureia]

N_{outros} : quantidade de Outros Fertilizantes em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de outros fertilizantes]

$FRAC_{3GASF(ureia)}$: fração do N aplicado que volatiliza na forma de Ureia [0,3]

$FRAC_{3GASF(outros)}$: fração do N aplicado que volatiliza na forma de Outros Fertilizantes [0,1]

EF_1 : fator de emissão direta de N₂O por fertilizantes sintéticos [0,01 kg N-N₂O por kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-3} : fator de conversão de kg para Gg

A metodologia atual do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e) traz também um cálculo específico das emissões de N₂O para o uso de fertilizantes nitrogenados no cultivo de arroz inundado ($E_{FSNArroz}$) realizada de acordo com as equações abaixo:

$$N_{FertmunArroz} = A_{arroz\ irrigado\ mun} \times N_{ha} \times 0,001$$

Equação 45

$$E_{UreiaArroz} = \left(N_{Fert\ mun\ arroz} \times (1 - FRAC_{GASP(Ureia)}) \right) \times EF_{1FR} \times F_c \times 0,001 \times EF_{pyUreia}$$

Equação 46

$$E_{OutrosArroz} = \left(N_{Fert\ mun\ arroz} \times (1 - FRAC_{GASP(Outros)}) \right) \times EF_{1FR} \times F_c \times 0,001 \times EF_{pyOutros}$$

Equação 47

$$E_{FSNArroz} = E_{UreiaArroz} + E_{OutrosArroz}$$

Equação 48

Onde:

$E_{FSNArroz}$: emissão de N_2O do uso de fertilizantes nitrogenados da cultura de Arroz Irrigado, resultante das emissões de Ureia e Outros [Gg de N_2O];

$A_{arrozirrigadomun}$: área de arroz sob regime inundado [ha];

N_{ha} : quantidade de nitrogênio aplicado por área [70 kg N/ha];

$N_{Fert\ mun\ Arroz}$: quantidade de fertilizante nitrogenado da cultura de Arroz Irrigados [ton];

$FRAC_{GASP\ (Ureia)}$: fração do N aplicado que volatiliza na forma de Ureia [0,3]

$FRAC_{GASP\ (Outros)}$: fração do N aplicado que volatiliza na forma de Outros Fertilizantes [0,1]

EF_{1FR} : fator de emissão direta de N_2O por fertilizantes sintéticos [0,003 kg N- N_2O por kg de N aplicado]

$EF_{pyUreia}$: valor constante para ureia

$EF_{pyOutros}$: valor constate para outros

Portanto, a emissão total de N_2O decorrente do uso de fertilizantes sintéticos é dada por:

$$E_{FSN\ Total} = E_{FSN} + E_{FSN\ Arroz}$$

Equação 49

Onde:

$E_{FSN\ Total}$: emissão de total de N_2O do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados e de fertilizantes nitrogenados da cultura de Arroz Irrigados (Gg de N_2O);

E_{FSN} : emissão de N_2O do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados (Gg de N_2O);

$E_{FSN\ Arroz}$: emissão de N_2O do uso de fertilizantes nitrogenados da cultura de Arroz Irrigados, resultante da soma das emissões de Ureia e Outros (Gg de N_2O);

DADOS DE ATIVIDADE: QUANTIDADE DE N APLICADA VIA FERTILIZANTES SINTÉTICOS (N_{FERT})

Dados de atividade estaduais

O dado básico necessário à estimativa de emissões diretas por fertilizantes nitrogenados sintéticos aplicados ao solo é o volume de nitrogênio (N) aplicado ao solo como fertilizante por estado.

A Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) mantém um banco de dados com os principais indicadores do mercado de fertilizantes nacional, porém estes dados não são públicos. Os dados de volume de fertilizantes entregues ao consumidor compõem o Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, que é disponibilizado apenas para associados e vendido para demais interessados, compreendendo dados do período 1986 a 2023.

Desta forma, a fonte de dados para o período de 1986 a 2023 foram as versões impressas disponíveis na Biblioteca de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

É importante notar que as quantidades de N via fertilizantes sintéticos usados nos estados do Norte do país no período de 1986 a 2004 estão somadas nos anuários da ANDA. Para efeito de cálculos estaduais, o SEEG dividiu o valor total da região Norte (apresentado pela ANDA) entre seus estados para esse período. Para isso, primeiramente foi calculada a proporção média de utilização de fertilizantes nitrogenados de cada estado em relação ao total da região no período 2005-2010 (Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá). Finalmente, a proporção obtida de cada estado foi multiplicada pelo valor total da região Norte para cada ano de 1986 a 2004, estimando-se, assim, a quantidade de fertilizante nitrogenado que cada estado utilizou nesse período.

Os dados para os anos de 1970 a 1985 foram estimados com base em dados disponíveis do livro *Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade* (LOUREIRO, *et.al*, 2009), onde é apresentada, na página 250, a quantidade aparente de N consumido via fertilizantes agrícolas no Brasil, de 1980 a 2004. Para isso, foram adotadas as seguintes etapas:

Etapa 1:

Calculou-se a proporção média de consumo de fertilizantes N por estado em relação à quantidade total consumida no Brasil. O período em que a proporção média foi calculada compreende os anos de 1986 e 1989, anos da década de 1980 em que os dados estaduais estão disponíveis, sendo utilizada a proporção dos anos de 1980 para minimizar o efeito de anos atípicos ou diferentes condições de produção que ocorrem ao longo do tempo.

Etapa 2:

Multiplicou-se a proporção de cada estado pela quantidade total de fertilizantes nitrogenados consumidos pelo Brasil em LOUREIRO, *et.al* (2009).

Uma vez que o estado do Mato Grosso do Sul (MS) passou a existir a partir de 1979, os valores anuais estimados para os estados de MT e MS no período de 1970 – 1978 foram somados e alocados em MT apenas.

Após a obtenção da quantidade de fertilizantes sintéticos nitrogenados de cada estado por ano, os dados foram divididos em dois tipos: ureia e “outros” fertilizantes nitrogenados (i.e: sulfato de amônio e nitrato de amônio). Essa divisão foi feita com base nas proporções descritas no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e) e se deve a diferentes taxas de volatilização de NH₃ e NO_x desses dois tipos de fertilizantes.

Para o cálculo das emissões de N₂O estaduais devido ao consumo de fertilizantes sintéticos para o cultivo de arroz irrigado foi utilizada a área ocupada de acordo com os dados levantados para o cálculo das emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz. Para obter a quantidade de N nessas áreas consideradas, multiplicou-se a área de arroz inundado

por 70 kg de N por hectare (kg N/ha), valor médio considerado como recomendado para os tipos de solos incluídos no cálculo do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Dados de atividade municipais

Os dados disponibilizados pela ANDA estão disponíveis apenas em uma base estadual. Portanto, para o levantamento da quantidade de fertilizante sintético utilizado por município foi realizada uma estimativa com base nas etapas apresentadas a seguir:

Etapa 1:

A primeira etapa é a obtenção da quantidade de fertilizante sintético utilizado por município. Para o cálculo são estimadas as quantidades produzidas de cana-de-açúcar, milho e algodão, culturas representativas em termos de produção e uso de fertilizantes sintéticos, conforme equação a seguir:

$$N_{fertmun} = \frac{[(Cana_{mun} + Milho_{mun} + Algodão_{mun}) \times N_{fertest}]}{(Cana_{est} + Milho_{est} + Algodão_{est})}$$

Equação 50

Onde:

$N_{fertmun}$: quantidade de fertilizante sintético usado por município [tonelada de fertilizante]

$N_{fertest}$: quantidade de fertilizante sintético usado por estado [tonelada de fertilizante]

$Cana_{mun}$ e $Cana_{est}$: quantidade produzida de cana-de-açúcar por município e estado, respectivamente [ton]

$Milho_{mun}$ e $Milho_{est}$: quantidade produzida de milho por município e estado, respectivamente [ton]

$Algodão_{mun}$ e $Algodão_{est}$: quantidade produzida de algodão por município e estado, respectivamente [ton]

Os dados da produção de cana-de-açúcar, milho e algodão municipais e estaduais foram extraídos da Tabela 5457 do SIDRA (IBGE, 2023a).

Etapa 2:

Na sequência é obtida a quantidade de ureia por município, através da equação:

$$Ureia_{mun} = N_{fertmun} \times PROP_{ureia}$$

Equação 51

Onde:

$Ureia_{mun}$: quantidade de ureia utilizada por município [ton]

$N_{fertmun}$: quantidade de fertilizante sintético usado por município [tonelada de fertilizante]

$PROP_{ureia}$: é a proporção de ureia em relação ao total de fertilizante sintético [%]

A proporção de ureia em relação ao total de fertilizante sintético $PROP_{ureia}$ utilizado no cálculo é a mesma do estado correspondente.

Etapa 3:

Na sequência é obtida a quantidade de outros fertilizantes por município, através da equação:

$$Outros_{mun} = N_{fertmun} \times PROP_{outros}$$

Equação 52

Onde:

$Outros_{mun}$: quantidade de outros fertilizantes utilizados por município [ton]

$N_{fertmun}$: quantidade de fertilizante sintético usado por município [tonelada de fertilizante]

$PROP_{outros}$: é a proporção de outros fertilizantes em relação ao total de fertilizante sintético [%]

A proporção de outros fertilizantes em relação ao total de fertilizante sintético $PROP_{ureia}$ utilizado no cálculo é a mesma do estado correspondente.

Para o cálculo das emissões de N₂O municipais devido ao consumo de fertilizantes sintéticos para o cultivo de arroz irrigado foi utilizada a área ocupada de acordo com os dados levantados para o cálculo das emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz. Na sequência, assim como para os dados estaduais, o valor da área de arroz inundado por município foi multiplicado por 70 kg de N por hectare (kg N/ha), valor médio considerado como recomendado para os tipos de solos incluídos no cálculo do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Fatores de perda de N por volatilização

Para o cálculo das emissões diretas de N₂O por fertilizantes sintéticos utilizou-se um fator de perda de nitrogênio por volatilização de NH₃ e NO_x de 30% por kg de ureia aplicada ao solo e de 10% por kg de outros fertilizantes nitrogenados, de acordo com o Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Fator de emissão de N₂O (EF_1)

O fator de emissão de N₂O adotado foi de 1% por kg de ureia e outros fertilizantes aplicados ao solo, ou seja 0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado, após descontar o N perdido por volatilização de NH₃ e NO_x, como mostra a fórmula acima (BRASIL, 2020e). É importante mencionar que o fator de emissão de N₂O adotado pela metodologia empregada pelo (BRASIL, 2020e), de 1%, é menor que o fator proposto pelo IPCC (1996), de 1,25%. Segundo o Relatório de

Referência (BRASIL, 2020e), esse fato se deve ao desenvolvimento de pesquisas sob condições nacionais que sugerem emissões de N₂O pela aplicação de fertilizantes nitrogenados menores que o proposto pelo IPCC (2006).

Já os fatores de emissão $EF_{pyUreia}$ e $EF_{pyOutros}$ para a estimativa das emissões provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados no cultivo de arroz sob regime inundado são fatores agregados de emissão, estimados com base nos valores finais de emissão reportados no 4º Inventário Nacional e os dados de atividades especificados para uso no cálculo.

2.8 Resíduos agrícolas

Para a estimativa das emissões diretas de N₂O por resíduos de culturas agrícolas por ano, estado e município foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e).

Dada as diferenças dos dados disponíveis e características das culturas, as culturas foram separadas em dois grupos, os quais possuem diferentes equações de cálculo das emissões. No Grupo 1 foram incluídas as culturas de soja, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, algodão, fumo, mamona, tomate, abacaxi, melancia, melão, alho, cebola, juta, linho, malva, rami, triticale. Já no Grupo 2 foram incluídas as culturas de amendoim, aveia, centeio, cevada, sorgo, ervilha, fava, batata-doce, batata-inglesa, girassol.

Além da aplicação de diferentes equações para os Grupos 1 e 2 foram utilizadas equações específicas para a cultura da cana-de-açúcar e pastagens.

Sendo assim, a emissão direta total de N₂O por resíduos agrícolas será a soma das emissões das categorias supracitadas.

$$ET_{N_2O} = \text{Emissão}_{FCR1(N_2O)} + \text{Emissão}_{FCR2(N_2O)} + \text{Emissão}_{Cana_{N_2O}} + \text{Emissão}_{F_{crPastagens}}$$

Equação 53

Onde:

ET_{N_2O} : emissão direta total de N₂O dos resíduos agrícolas [Gg de N₂O]

$\text{Emissão}_{FCR1(N_2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

$\text{Emissão}_{FCR2(N_2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de N₂O]

$\text{Emissão}_{Cana_{N_2O}}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$\text{Emissão}_{F_{crPastagens}}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas das pastagens [Gg de N₂O]

Para a obtenção das estimativas de emissões dos Grupos 1 e 2, cana-de-açúcar e pastagens foram aplicadas as etapas a seguir:

Etapa 1:

Nessa etapa são obtidos os valores referentes ao rendimento fresco de cada uma das culturas dos Grupos 1 e 2, conforme equação a seguir:

$$Colheita_{Fresca} = (P \times 1000) \div \text{Área}_{Colhida}$$

Equação 54

$$CROP = Colheita_{Fresca} \times DRY$$

Equação 55

Onde:

$Colheita_{Fresca}$: rendimento fresco colhido para a cultura [kg matéria fresca/ha]

P : produção da cultura [ton]

$\text{Área}_{Colhida}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

DRY : fração de matéria seca da safra colhida T [kg matéria seca/kg de peso fresco]

As frações de matéria seca da safra colhida estão disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Etapa 2:

Nessa etapa é obtida a produção de matéria seca da parte aérea (AG_{DM}). Para o cálculo do AG_{DM} é necessário realizar duas rotas de cálculo, uma para o Grupo 1 e outra para o Grupo 2, a nível municipal.

Grupo 1:

$$AG_{DM} = CROP \times R_{AG}$$

Equação 56

Grupo 2:

$$AG_{DM} = (CROP \div 1000) \times slope + intercept$$

Equação 57

Onde:

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha];

R_{AG} : razão de matéria seca de resíduos acima do solo ($AG_{DM(T)}$) para o rendimento colhido seco para a cultura ($CROP$), [kg matéria seca/kg matéria seca];

$Slope$ e $Intercept$: constantes definidas pelo IPCC (2006) de inclinação e interceptação;

A razão entre o resíduo seco e o produto colhido seco (R_{AG}) foi obtida no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Etapa 3:

Nessa etapa são calculadas a entrada de nitrogênio no solo por resíduos das culturas e renovação das pastagens.

Para o Grupo 1:

$$F_{CR1} = (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times AG_{DM} \times N_{AG}) + (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times (AG_{DM} + CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Equação 58

Onde:

F_{CR1} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 1 [kg N]

$\text{Área}_{\text{Colhida}}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [kg matéria seca/kg matéria seca]

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

Para o Grupo 2:

$$F_{CR2} = (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times AG_{DM} \times 1000 \times N_{AG}) + (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times (AG_{DM} \times 1000 + CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Equação 59

Onde:

F_{CR2} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 2 [kg N]

$\text{Área}_{\text{Colhida}}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [kg matéria seca/kg matéria seca]

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

Para a cana-de-açúcar:

Para a cana-de-açúcar foi descontada a fração de N que oxida quando o canavial é queimado, tendo como referência o procedimento metodológico e os dados utilizados na estimativa de emissões na queima de resíduos agrícolas (BRASIL, 2020e).

Para as emissões resíduos agrícolas de cana-de-açúcar foram utilizadas equações de acordo com a interpretação da rota proposta pela metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Destaca-se a necessidade de aprimorar essa

estimativa, assim obtendo resultados mais alinhados com os reportados no Relatório de Referência. A estimativa foi realizada através da aplicação das seguintes equações:

$$F_{CR1} = \left(\left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \right) - \left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \times \%Cm \times DRY \right) \right) \times N_{AG}$$

Equação 60

$$F_{CR2} = \left(\left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \right) - \left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \times \%Cm \times DRY \right) \right) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG}$$

Equação 61

Onde:

F_{CR1} e F_{CR2} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos [kg N]

P : produção da cultura [ton];

$\frac{RESDM}{CROPDM}$: razão entre resíduo seco e produto seco da cana-de-açúcar [0,187];

$\%Cm$: porcentagem de colheita manual em que ocorre queima dos resíduos [%];

DRY : fração de matéria seca da safra colhida [0,79 kg matéria seca/kg de peso fresco];

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [0,006 kg N/kg matéria seca];

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [0,1 kg matéria seca/kg matéria seca];

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [0,006 kg N/kg matéria seca]

Etapa 4:

Nessa etapa são realizados os cálculos das emissões de N₂O para os Grupos 1, 2, cana-de-açúcar e pastagens.

Para o Grupo 1:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N2O)} = F_{CR1} \times EF_1 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 62

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N2O)}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

F_{CR1} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 1 [kg N]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

EF_1 : fator de emissão de N₂O [kg N-N₂O/kg N no resíduo cultural]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Para o Grupo 2:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCR2(N2O)} = F_{CR2} \times EF_1 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 63

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1(N2O)}$: emiss\~ao direta de N₂O dos r\~esiduos agr\~icolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

F_{CR2} : quantidade de nitrog\~enio no solo por r\~esiduos das culturas do Grupo 2 [kg N]

F_c : fator de convers\~ao de N em N₂O [44/28]

EF_1 : fator de emiss\~ao de N₂O [kg N-N₂O/kg N no r\~esiduo cultural]

10^{-6} : fator de convers\~ao de kg para Gg

Para cana-de-a\~cucar:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCR1} = F_{CR1} \times F_c \times 10^{-6}$$

Equa\~cao 64

$$Emiss\tilde{a}o_{FCR2} = F_{CR2} \times F_c \times 10^{-6}$$

Equa\~cao 65

$$Emiss\tilde{a}o_{Cana_{N2O}} = Emiss\tilde{a}o_{FCR1} + Emiss\tilde{a}o_{FCR2}$$

Equa\~cao 66

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{Cana_{N2O}}$: emiss\~ao direta total de N₂O dos r\~esiduos agr\~icolas da cana-de-a\~cucar [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o_{FCR1}$ e $Emiss\tilde{a}o_{FCR2}$: emiss\~ao direta de N₂O dos r\~esiduos agr\~icolas da cana-de-a\~cucar [Gg de N₂O]

F_{CR1} e F_{CR2} : quantidade de nitrog\~enio no solo por r\~esiduos [kg N]

F_c : fator de convers\~ao de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de convers\~ao de kg para Gg

Para pastagens:

$$Emiss\tilde{a}o_{FCRPastagens} = EF_{py} \times A_{MunPastagens} \times EF_1 \times F_c \times 0,000001$$

Equa\~cao 67

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{FCRPastagens}$: emiss\~ao direta de N₂O da renova\~cao das pastagens [Gg de N₂O];

EF_{py} : fator de emiss\~ao proxy de 1970 at\~e 2023 [ton N/ha];

$A_{MunPastagens}$: \~area de pastagens no n\~ivel municipal [ha];

F_c : fator de convers\~ao de N em N₂O [44/28];

EF_1 : fator de emiss\~ao de N₂O [kg N- N₂O por kg N no r\~esiduo da cultura];

10^{-6} : fator de convers\~ao de kg para Gg

Dados de Atividade: Produção agrícola (P)

Os dados de produção agrícola e áreas de plantio das culturas a nível municipal e estadual foram extraídos da Tabela 5457 da Pesquisa PAM (IBGE, 2023a) para o período de 1974 a 2023. Para o período de 1970 a 1973 foram utilizados os dados do total nacional disponibilizados pela FAO (UN, 2021b). Sendo assim, para a obtenção dos dados a nível municipal e estadual para esse período foi aplicada a proporção de produção e área para os respectivos municípios e estados do ano de 1974.

Com relação às áreas de pastagem, os dados foram extraídos do MapBiomas (Mapbiomas, 2023).

Fatores de emissão de N₂O e demais variáveis

Os parâmetros necessários para o cálculo das emissões de N₂O por resíduos agrícolas que retornam ao solo *DRY*, *R_{ag}*, *N_{AG}*, *R_{BG-BIO}* e *N_{BG}* foram extraídos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Para o cálculo das emissões diretas de N₂O por resíduos de culturas agrícolas, utilizou-se um fator de emissão direta de N₂O (*EF₁*) de 0,01 kg de N₂O/kg de N que retorna ao solo via resíduos, de acordo com o Relatório de Referência (BRASIL, 2020d).

2.9 Solos orgânicos

Para estimativa das emissões diretas de N₂O por solos orgânicos cultivados foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), conforme equação a seguir:

$$E_{SO} = A_{SC} \times EF_2 \times EF_{py} \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 68

Onde:

E_{SO} : emissões de solos orgânicos [Gg de N₂O]

A_{SC} : área de solos orgânicos cultivados (manejada) [ha]

EF₂ : fator de emissão de N₂O [9,41 kg de N₂O/ha cultivado]

EF_{py} : fator de emissão de N₂O [kg de N₂O/ha cultivado]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10⁻⁶ : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: Área cultivada de orgânicos (A_{SC})

Para a estimativa das emissões diretas de solos orgânicos a variável chave é a área de organossolo cultivado por ano. O 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções, por meio de mapas de solos e usos da terra, calculou que o Brasil possui 0,96 milhão de hectares de orgânicos, localizados em 20 estados. A divisão estadual dessas áreas é mostrada no Relatório de Referência (BRASIL, 2020e). Desse total, considerou-se as áreas de solos orgânicos que estão sob algum tipo de manejo, como áreas agrícolas, de pastagens e de reflorestamento. Através da publicação de CANTO *et.al* (2020) foram obtidas as áreas totais de cada estado de solos orgânicos sob esses tipos de uso da terra, sendo aplicado o fator de emissão agregado EF_{py} , assim estimando a emissão de N_2O provenientes do manejo de solos orgânicos.

Para a obtenção das áreas cultivadas de orgânicos por município foi utilizada a proporção da área total do município pela área total do estado e multiplicada pela área cultivada de orgânicos do estado.

Fator de emissão de N_2O

Para o cálculo de emissões diretas dos solos orgânicos utilizou-se o fator médio de emissão de N_2O para solos orgânicos (EF_2) cultivados, que resultou na emissão N_2O por hectare de organossolo cultivado (BRASIL, 2020e), valor médio utilizado no 4º Inventário Nacional.

2.10 Mineralização de N associado à perda de carbono no solo

Para estimativa das emissões diretas de N₂O pela mineralização de nitrogênio associado à perda de carbono no solo foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), conforme equação a seguir:

$$E_{Mi} = A \times EF_1 \times EF_{py} \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 69

Onde:

E_{Mi} : emissões de solos orgânicos [Gg de N₂O]

A : área [ha]

EF_1 : fator de emissão de N₂O [0,01 kg de N₂O/ha]

EF_{py} : fator de emissão de N₂O [kg de N₂O/ha]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: Área (A)

Para a estimativa das emissões diretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo, o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) utiliza mapas de solos e usos da terra a nível nacional. Essas emissões foram alocadas para os estados e municípios de acordo com a taxa de emissão por área estadual e municipal, respectivamente, dentro da série histórica considerada no 4º Inventário Nacional (1990-2016). Destaca-se a necessidade de aprimoramento na replicação da metodologia para que os valores para os anos mais recentes sejam estimados com precisão e a mesma robustez metodológica.

Fator de emissão de N₂O

Para o cálculo de emissões diretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo utilizou-se o fator de emissão de N₂O (EF_1) cultivados, de 0,01 kg de N₂O por hectare (BRASIL, 2020e), valor médio utilizado no 4º Inventário Nacional.

2.11 Emissões indiretas de N₂O via volatilização e posterior deposição atmosférica

ADUBOS ORGÂNICOS

Aplicação de torta de filtro como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões de N₂O indiretas pela aplicação de torta de filtro ao campo como adubo orgânico, foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), de acordo com equação abaixo.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de volatilização ($FRAC_{gasm}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_4).

$$E_{Tfin} = \sum \left((P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TFG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CFE} \times T_{TFG}) + (P_E \times 10^3 \times T_{CFE} \times T_{TFG}) \right) \times TN_{Tf} \times 10^3 \times FRAC_{gasm} \times EF_4 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 70

Onde:

E_{Tf} : emissões de N₂O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N₂O]

P_A : produção de açúcar [mil toneladas]

P_E : produção de etanol [mil m³]

T_{CF} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de açúcar [8,5 ton cana-de-açúcar/ton de açúcar]

T_{TFG} : quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada [0,04 ton torta de filtro/ton de cana-de-açúcar]

V_{ER} : quantidade de etanol residual proveniente da produção de açúcar [0,085 m³/ton açúcar]

T_{CFE} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m³ etanol]

TN_{Tf} : teor de N da torta de filtro [0,015 kg N/kg de torta de filtro]

$FRAC_{gasm}$: Fator de volatilização – quantidade de N volatilizado [0,2]

EF_4 : fator de emissão indireta de N₂O pela aplicação de torta de filtro ao campo [0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : Fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: Produção de Torta de Filtro

A quantidade de torta de filtro produzida por estado e município utilizada para a estimativa da emissão indireta de N₂O é a mesma que a utilizada para o cálculo da emissão direta.

Fator de emissão e demais variáveis

As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Aplicação de esterco como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O decorrentes da aplicação direta de esterco no campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a equação a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de volatilização ($FRAC_{gasm}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_4).

$$E_{Ein} = N_T \times N_{Ext} \times \sum_S (MS_{TS} \times (1 - Frac_{loss\ ms}) \times F_c \times 10^{-6}) \times FRAC_{gasm} \times EF_4$$

Equação 71

Onde:

E_{Ein} : emissão direta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N₂O]

N_T : população animal por categoria animal T [nº de cabeças]

N_{Ext} : quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal T [kg N/categoria animal]

MS_{TS} : sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal [%]

$FRAC_{loss\ ms}$: fator de perda de nitrogênio – inclui as perdas de nitrogênio desde o local ocupado até o local de manejo de dejetos [%]

$FRAC_{gasm}$: Fator de volatilização – quantidade de N volatilizado [0,2]

EF_4 : fator de emissão indireta de N₂O pela aplicação de esterco como adubo no campo [0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade

As categorias animais consideradas no cálculo das emissões provenientes da aplicação de esterco no campo são compostas dos bovinos (tousos > 2 anos, macho de corte > 2 anos (não confinados), fêmea de corte > 2 anos (não confinados), outros bovinos > 2 anos (confinados), 1 < Bovinos < 2 anos, Bovinos < 1 ano e bovinos de leite (alta e baixa produção)), suínos e aves, conforme apresentado na Tabela 5.

População animal

O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais das populações de bovinos (bovinos de corte e de leite), suínos (Aleitamento/Creche, Engorda e Reprodutores e Aves) foi o mesmo adotado para a obtenção das respectivas populações no cálculo das emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos animais.

Fatores de emissão e demais variáveis

Os fatores de emissão e demais variáveis utilizados no cálculo foram obtidos dos Relatórios de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões para o subsetor Manejo de Dejetos (BRASIL, 2020c) e subsetor de Solos Manejados (BRASIL, 2020e).

DEPOSIÇÃO DE DEJETOS

Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos de animais no campo como adubo orgânico foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a seguinte equação a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de volatilização ($FRAC_{gasm}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_4).

$$E_{DP} = \sum(N_T \times N_{exT} \times MS_T) \times FRAC_{gasm} \times EF_4 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 72

Onde:

E_{DP} : emissões diretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N₂O];

N_T : população da categoria animal T [nº de cabeças];

N_{exT} : quantidade de nitrogênio excretada por categoria animal T [kg N/animal/ano];

MS_T : fração do nitrogênio total excretado diretamente em pastagens por categoria animal T [%];

$FRAC_{gasm}$: Fator de volatilização – quantidade de N volatilizado [0,2]

EF_4 : fator de emissão indireta de N₂O pela deposição de dejetos no campo [0,01 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: População animal (N_T)

Os dados chave para a estimativa de emissões indiretas de N_2O pelos dejetos de animais depositados diretamente em pastagem inclui a população dos rebanhos de vacas leiteiras, bovinos de corte (touros, jovens, bezerras, machos > 2 anos não confinados e fêmeas > 2 anos não confinadas), suínos de subsistência (aleitamento/creche, engorda e reprodutores), bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muares e asininos, conforme Tabela 6. Tanto para os dados de atividade estaduais quanto para as municipais foram utilizadas as populações obtidas para o cálculo das emissões de Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos.

Fator de emissão e demais variáveis:

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N_2O , bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

FERTILIZANTES SINTÉTICOS

Para a estimativa das emissões indiretas por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a equação apresentada a seguir.

A diferença do cálculo da emissão direta de N_2O devido ao uso de fertilizantes sintéticos para a emissão indireta, é a substituição do fator de emissão direta (EF_1) pelo fator de emissão indireta (EF_4).

$$E_{FSN} = \left(N_{fert} - \left((N_{ureia} \times FRAC_{3GASF(ureia)}) + (N_{outros} \times FRAC_{3GASF(outros)}) \right) \right) \times EF_4 \times F_c \times 10^{-3}$$

Equação 73

Onde:

E_{FSN} : emissões diretas de N_2O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N_2O]

N_{fert} : quantidade de N em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de N]

N_{ureia} : quantidade de ureia em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de ureia]

N_{outros} : quantidade de Outros Fertilizantes em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de outros fertilizantes]

$FRAC_{3GASF(ureia)}$: fração do N aplicado que volatiliza na forma de Ureia [0,3]

$FRAC_{3GASF(outros)}$: fração do N aplicado que volatiliza na forma de Outros Fertilizantes [0,1]

EF_4 : fator de emissão direta de N_2O por fertilizantes sintéticos [0,01 kg N- N_2O por kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N_2O [44/28]

10^{-3} : fator de conversão de kg para Gg

Diferentemente das emissões diretas que contemplam a cultura de arroz irrigado no cálculo das emissões, nas emissões indiretas não há contribuição da cultura de arroz irrigado. Isso porque como o crescimento do arroz se dá em meio aquoso, não há deposição atmosférica.

Dados de Atividade: Quantidade de N aplicada via fertilizantes sintéticos (N_{FERT}):

O dado básico necessário à estimativa de emissões indiretas por fertilizantes nitrogenados sintéticos aplicados ao solo é o volume de nitrogênio (N) aplicado ao solo como fertilizante. As informações utilizadas a nível estadual e municipal no cálculo da emissão indireta de N_2O são as mesmas que as obtidas para o cálculo das emissões diretas.

Fator de emissão e demais variáveis:

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N_2O , bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

2.12 Emissões indiretas de N₂O via lixiviação/escoamento superficial

Como a lixiviação ocorre em solos propícios para o evento, no 4º Inventário Nacional foram construídos mapas para os anos 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016, apresentados na Figura 3, que mostram as áreas do território nacional sujeitas à lixiviação (BRASIL, 2020e). Como esses mapas estão em uma escala estadual, para o cálculo das emissões indiretas de N₂O dos municípios foi necessário aplicar um fator de normalização com o intuito de garantir que a soma dos resultados obtidos para os municípios será igual ao total de emissão por estado do 4º Inventário Nacional. A equação a seguir apresenta o cálculo aplicado para a normalização das emissões municipais.

$$E_{Tin_{munajustado}} = \left(\frac{\text{Emissão Total Inventário}_{estadual}}{\text{Emissão Total Estimada}_{estadual}} \right) \times \text{Resultado Estimado}_{município}$$

Equação 74

Onde:

$E_{Tin_{ajustado}}$: emissão indireta total de N₂O por município das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo normalizadas;

$E_{missão\ Total\ Inventário}_{estadual}$: emissão indireta total de N₂O por estado das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo, calculadas no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e);

$E_{missão\ Total\ Estimada}_{estadual}$: emissão indireta total de N₂O por estado das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo, estimadas pelo SEEG;

$Resultado\ Estimado_{município}$: emissão indireta total de N₂O por município das subcategorias de Adubo Orgânico (vinhaça, torta de filtro e esterco), Deposição de Dejetos, Fertilizantes Sintéticos, Resíduos Agrícolas e Mineralização de nitrogênio associado a perda de carbono no solo, estimadas pelo SEEG

Como os dados do 4º Inventário Nacional estão disponíveis para alguns anos, para o período de 1970 a 1989 foi aplicada a normalização com base nos dados de 1990. Já para o período de 2017 a 2023 foi aplicada a normalização com base nos dados de 2016.

ADUBOS ORGÂNICOS

Aplicação de vinhaça como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões de N₂O indiretas pela aplicação de vinhaça ao campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a equação a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_5).

$$E_V = \sum(P_E \times P_{EV} \times N_V \times 10^3) \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6} \quad \text{Equação 75}$$

Onde:

E_V : emissões de N₂O diretas pela aplicação de vinhaça ao campo [Gg de N₂O]

P_E : produção de etanol [mil m³]

P_{EV} : proporção da produção de vinhaça e etanol [L de vinhaça/L de etanol]

N_V : quantidade de nitrogênio contida na vinhaça [kg N/m³ de vinhaça]

10^3 : fator de conversão de m³ para L

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O pela aplicação de vinhaça ao campo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: A quantidade de torta de filtro produzida por estado e município utilizada para a estimativa da emissão indireta de N₂O é a mesma que a utilizada para o cálculo da emissão direta.

Fator de emissão e demais variáveis: As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Aplicação de torta de filtro como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões de N₂O indiretas pela aplicação de torta de filtro ao campo como adubo orgânico, foi replicada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e), de acordo com equação abaixo. A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de lixiviação (***Frac_{leach-(h)}***). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (***EF₅***).

$$E_{Tfin} = \sum \left((P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TFG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CFE} \times T_{TFG}) + (P_E \times 10^3 \times T_{CFE} \times T_{TFG}) \right) \times TN_{Tf} \times 10^3 \times \text{Frac}_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 76

Onde:

E_{Tf} : emissões de N₂O diretas pela aplicação de torta de filtro ao campo [Gg de N₂O]

P_A : produção de açúcar [mil toneladas]

P_E : produção de etanol [mil m³]

T_{CF} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de açúcar [8,5 ton cana-de-açúcar/ton de açúcar]

T_{TFG} : quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada [0,04 ton torta de filtro/ton de cana-de-açúcar]

V_{ER} : quantidade de etanol residual proveniente da produção de açúcar [0,085 m³/ton açúcar]

T_{CFE} : quantidade de cana-de-açúcar filtrada necessária para a produção de etanol [14,3 ton cana-de-açúcar/m³ etanol]

TN_{Tf} : teor de N da torta de filtro [0,015 kg N/kg de torta de filtro]

Frac_{leach-(h)} : Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF₅ : fator de emissão indireta de N₂O pela aplicação de torta de filtro ao campo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : Fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10⁻⁶ : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: A quantidade de torta de filtro produzida por estado e município utilizada para a estimativa da emissão indireta de N₂O é a mesma que a utilizada para o cálculo da emissão direta.

Fator de emissão e demais variáveis: As variáveis e o fator de emissão utilizados correspondem aos valores encontrados no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Aplicação de esterco como adubo orgânico

Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O decorrentes da aplicação direta de esterco no campo como adubo orgânico, foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a equação a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_5).

$$E_{Ein} = N_T \times Nex_T \times \sum_s (MS_{TS} \times (1 - Frac_{loss-ms}) \times F_c \times 10^{-6}) \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5$$

Equação 77

Onde:

E_{Ein} : emissão direta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [Gg de N₂O]

N_T : população animal por categoria animal T [nº de cabeças]

Nex_T : quantidade de nitrogênio excretado por categoria animal T [kg N/categoria animal]

MS_{TS} : sistema de manejo de dejetos específico para categoria animal [%]

$Frac_{loss-ms}$: fator de perda de nitrogênio – inclui as perdas de nitrogênio desde o local ocupado até o local de manejo de dejetos [%]

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O pela aplicação de esterco no campo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: As categorias animais consideradas no cálculo das emissões provenientes da aplicação de esterco no campo são compostas dos bovinos (touro > 2 anos, macho de corte > 2 anos (não confinados), fêmea de corte > 2 anos (não confinados), outros bovinos > 2 anos (confinados), 1 < Bovinos < 2 anos, Bovinos < 1 ano e bovinos de leite (alta e baixa produção)), suínos e aves, conforme apresentado na Tabela 5.

População animal: O processo de obtenção dos dados estaduais e municipais das populações de bovinos (bovinos de corte e de leite), suínos (Aleitamento/Creche, Engorda e Reprodutores e Aves) foi o mesmo adotado para a obtenção das respectivas populações no cálculo das emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos animais.

Fatores de emissão e demais variáveis: Os fatores de emissão e demais variáveis utilizados no cálculo foram obtidos dos Relatórios de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões para o subsetor Manejo de Dejetos (BRASIL, 2020c) e subsetor de Solos Manejados (BRASIL, 2020e).

DEPOSIÇÃO DE DEJETOS

Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos de animais no campo como adubo orgânico foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) de acordo com a seguinte equação a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_5).

$$E_{DP} = \sum (N_T \times N_{exT} \times MS_T) \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 78

Onde:

E_{DP} : emissões diretas de N₂O decorrentes da deposição de dejetos animais depositados diretamente em pastagens [Gg de N₂O];

N_T : população da categoria animal T [nº de cabeças];

N_{exT} : quantidade de nitrogênio excretada por categoria animal T [kg N/animal/ano];

MS_T : fração do nitrogênio total excretado diretamente em pastagens por categoria animal T [%];

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O pela deposição de dejetos [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: População animal (N_T)

Os dados chave para a estimativa de emissões indiretas de N₂O pelos dejetos de animais depositados diretamente em pastagem inclui a população dos rebanhos de vacas leiteiras, bovinos de corte (touro, jovens, bezerros, machos > 2 anos não confinados e fêmeas > 2 anos não confinadas), suínos de subsistência (aleitamento/creche, engorda e reprodutores), bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, muare e asininos, conforme Tabela 6.

Tanto para os dados de atividade estaduais quanto para as municipais foram utilizadas as populações obtidas para o cálculo das emissões de Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos.

Fator de emissão e demais variáveis

As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N₂O, bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

FERTILIZANTES SINTÉTICOS

Para a estimativa das emissões indiretas por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo foi utilizada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), de acordo com a equação apresentada a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_5).

$$E_{FSNin} = N_{fert} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-3}$$

Equação 79

Onde:

E_{FSN} : emissões diretas de N₂O por fertilizantes sintéticos aplicados ao solo [Gg de N₂O]

N_{fert} : quantidade de N em fertilizantes aplicados ao solo [tonelada de N]

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O pelo uso de fertilizantes sintéticos [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-3} : fator de conversão de kg para Gg

Diferentemente das emissões diretas que contemplam a cultura de arroz irrigado no cálculo das emissões, nas emissões indiretas não há contribuição da cultura de arroz irrigado. Isso porque como o crescimento do arroz se dá em meio aquoso, não há deposição atmosférica.

Dados de Atividade: A quantidade de fertilizantes sintéticos aplicados ao solo utilizado para o cálculo das emissões indiretas corresponde ao mesmo valor obtido para o cálculo das emissões diretas.

Quantidade de N aplicada via fertilizantes sintéticos (N_{FERT}): O dado básico necessário à estimativa de emissões indiretas por fertilizantes nitrogenados sintéticos aplicados ao solo é o volume de nitrogênio (N) aplicado ao solo como fertilizante. As informações utilizadas a nível estadual e municipal no cálculo da emissão indireta de N₂O são as mesmas que as obtidas para o cálculo das emissões diretas.

Fator de emissão e demais variáveis: As variáveis de cálculo das emissões indiretas de N₂O, bem como o fator de emissão indireta foram obtidos do Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2020e).

RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Para a estimativa das emissões indiretas de N₂O por resíduos de culturas agrícolas por ano, estado e município foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e).

Assim como para o cálculo das emissões diretas, para o cálculo das emissões indiretas as culturas foram separadas em dois grupos, os quais possuem diferentes equações de cálculo das emissões. No Grupo 1 foram incluídas as culturas de soja, milho, arroz, feijão, trigo, mandioca, algodão, fumo, mamona, tomate, abacaxi, melancia, melão, alho, cebola, juta, linho, malva, rami, triticale. Já no Grupo 2 foram incluídas as culturas de amendoim, aveia, centeio, cevada, sorgo, ervilha, fava, batata-doce, batata-inglesa, girassol.

Além da aplicação de diferentes equações para os Grupos 1 e 2 foram utilizadas equações específicas para a cultura da cana-de-açúcar e pastagens.

Sendo assim, a emissão indireta total de N₂O por resíduos agrícolas será a soma das emissões das categorias supracitadas.

$$ETin_{N_2O} = Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR1(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR2(N_2O)} + Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ Cana_{N_2O} + Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ F_{crPastagens}$$

Equação 80

Onde:

$ETin_{N_2O}$: emissão indireta total de N₂O dos resíduos agrícolas [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR1(N_2O)}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta_{FCR2(N_2O)}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 2 [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ Cana_{N_2O}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$Emiss\tilde{a}o\ i\ ndireta\ F_{crPastagens}$: emissão indireta de N₂O dos resíduos agrícolas das pastagens [Gg de N₂O]

Para a obtenção das estimativas de emissões dos Grupos 1 e 2, cana-de-açúcar e pastagens foram aplicadas as mesmas etapas que as aplicadas para o cálculo das emissões diretas, com alguns ajustes nas variáveis utilizadas na Etapa 4, conforme apresentado a seguir.

Etapa 1:

Nessa etapa são obtidos os valores referentes ao rendimento fresco de cada uma das culturas dos Grupos 1 e 2, conforme equação a seguir:

$$Colheita_{Fresca} = (P \times 1000) \div \mathit{Area}_{Colhida}$$

Equação 81

$$CROP = Colheita_{Fresca} \times DRY$$

Equação 82

Onde:

$Colheita_{Fresca}$: rendimento fresco colhido para a cultura [kg matéria fresca/ha]

P : produção da cultura [ton]

$Área_{colhida}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

DRY : fração de matéria seca da safra colhida T [kg matéria seca/kg de peso fresco]

As frações de matéria seca da safra colhida estão disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Etapa 2:

Nessa etapa é obtida a produção de matéria seca da parte aérea (AG_{DM}). Para o cálculo do AG_{DM} é necessário realizar duas rotas de cálculo, uma para o Grupo 1 e outra para o Grupo 2, a nível municipal.

Grupo 1:

$$AG_{DM} = CROP \times R_{AG}$$

Equação 83

Grupo 2:

$$AG_{DM} = (CROP \div 1000) \times slope + intercept$$

Equação 84

Onde:

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha];

R_{AG} : razão de matéria seca de resíduos acima do solo ($AG_{DM(T)}$) para o rendimento colhido seco para a cultura ($CROP$), [kg matéria seca/kg matéria seca];

$Slope$ e $Intercept$: constantes definidas pelo IPCC (2006) de inclinação e interceptação;

A razão entre o resíduo seco e o produto colhido seco (R_{AG}) foi obtida no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Etapa 3:

Nessa etapa são calculadas a entrada de nitrogênio no solo por resíduos das culturas e renovação das pastagens.

Para o Grupo 1:

$$F_{CR1} = (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times AG_{DM} \times N_{AG}) + (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times (AG_{DM} + CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Equação 85

Onde:

F_{CR1} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 1 [kg N]

$\text{Área}_{\text{Colhida}}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [kg matéria seca/kg matéria seca]

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

Para o Grupo 2:

$$F_{CR2} = (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times AG_{DM} \times 1000 \times N_{AG}) + (\text{Área}_{\text{Colhida}} \times (AG_{DM} \times 1000 + CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Equação 86

Onde:

F_{CR2} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 2 [kg N]

$\text{Área}_{\text{Colhida}}$: área colhida [ha]

$CROP$: rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura [kg matéria seca/ha]

AG_{DM} : produção de matéria seca da parte aérea [kg matéria seca/ha]

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [kg matéria seca/kg matéria seca]

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [kg N/kg matéria seca]

Para a cana-de-açúcar:

Para a cana-de-açúcar foi descontada a fração de N que oxida quando o canavial é queimado, tendo como referência o procedimento metodológico e os dados utilizados na estimativa de emissões na queima de resíduos agrícolas (BRASIL, 2020e).

Para as emissões resíduos agrícolas de cana-de-açúcar foram utilizadas equações de acordo com a interpretação da rota proposta pela metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e). Destaca-se a necessidade de aprimorar essa estimativa, assim obtendo resultados mais alinhados com os reportados no Relatório de Referência. A estimativa foi realizada através da aplicação das seguintes equações:

$$F_{CR1} = \left(\left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \right) - \left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \times \%Cm \times DRY \right) \right) \times N_{AG}$$

Equação 87

$$F_{CR2} = \left(\left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \right) - \left(P \times \frac{RESDM}{CROPDM} \times \%Cm \times DRY \right) \right) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG}$$

Equação 88

Onde:

F_{CR1} e F_{CR2} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos [kg N]

P : produção da cultura [ton];

$\frac{RESDM}{CROPDM}$: razão entre resíduo seco e produto seco da cana-de-açúcar [0,187];

$\%Cm$: porcentagem de colheita manual em que ocorre queima dos resíduos [%];

DRY : fração de matéria seca da safra colhida [0,79 kg matéria seca/kg de peso fresco];

N_{AG} : teor de N de resíduos acima do solo para a cultura [0,006 kg N/kg matéria seca];

R_{BG-BIO} : proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura [0,1 kg matéria seca/kg matéria seca];

N_{BG} : teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura [0,006 kg N/kg matéria seca]

Etapa 4:

Nessa etapa são realizados os cálculos das emissões de N_2O para os Grupos 1, 2, cana-de-açúcar e pastagens.

A diferença dessa etapa para o cálculo das emissões diretas, é a inclusão de um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$) e a substituição do fator de emissão direta por um fator de emissão indireta (EF_5).

Para o Grupo 1:

$$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N2O)} = F_{CR1} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 89

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR1(N2O)}$: emissão direta de N_2O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N_2O]

F_{CR1} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 1 [kg N]

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N_2O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N- N_2O /kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N_2O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Para o Grupo 2:

$$Emiss\tilde{a}o\ indireta_{FCR2(N2O)} = F_{CR2} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 90

Onde:

$Emissão_{indireta_{FCR1(N_2O)}}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas para o Grupo 1 [Gg de N₂O]

F_{CR2} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos das culturas do Grupo 2 [kg N]

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Para cana-de-açúcar:

$$Emissão_{FCR1} = F_{CR1} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 91

$$Emissão_{FCR2} = F_{CR2} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 92

$$Emissão_{indiretaCana_{N_2O}} = Emissão_{FCR1} + Emissão_{FCR2}$$

Equação 93

Onde:

$Emissão_{indiretaCana_{N_2O}}$: emissão direta total de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

$Emissão_{FCR1}$ e $Emissão_{FCR2}$: emissão direta de N₂O dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar [Gg de N₂O]

F_{CR1} e F_{CR2} : quantidade de nitrogênio no solo por resíduos [kg N]

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Para pastagens:

$$Emissão_{indireta_{FCRPastagens}} = EF_{py} \times A_{MunPastagens} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_c \times 10^{-6}$$

Equação 94

Onde:

$Emissão_{indireta_{FCRPastagens}}$: emissão direta de N₂O da renovação das pastagens [Gg de N₂O];

EF_{py} : fator de emissão proxy de 1970 até 2023 [ton N/ha];

$A_{MunPastagens}$: área de pastagens no nível municipal [ha];

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O por resíduos agrícolas [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_c : fator de conversão de N em N₂O [44/28];

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: Produção agrícola (P), os dados de produção agrícola e áreas de plantio das culturas a nível municipal e estadual são os mesmos que os utilizados para o cálculo das emissões diretas.

Fatores de emissão de N₂O e demais variáveis: Os parâmetros e fator de emissão necessários para o cálculo das emissões indiretas de N₂O por resíduos agrícolas que retornam ao solo foram extraídos do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

Mineralização de N associado à perda de carbono no solo

Para estimativa das emissões indiretas de N₂O pela mineralização de nitrogênio associado à perda de carbono no solo foi utilizada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), conforme equação a seguir.

A diferença no cálculo da emissão direta para a indireta é a aplicação de um fator de lixiviação ($Frac_{leach-(h)}$). Além disso, o fator de emissão aplicado é substituído por um fator para emissão indireta (EF_5) e o fator de emissão (EF_{py-lix}) utilizado é um fator específico para a lixiviação.

$$E_{Mi} = A \times EF_{py-lix} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_5 \times F_C \times 10^{-6}$$

Equação 95

Onde:

E_{Mi} : emissões de solos orgânicos [Gg de N₂O]

A : área [ha]

EF_{py-lix} : fator de emissão de N₂O [kg de N₂O/ha]

$Frac_{leach-(h)}$: Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado [0,3]

EF_5 : fator de emissão indireta de N₂O por mineralização de N associado à perda de carbono no solo [0,0075 kg N-N₂O/kg de N aplicado]

F_C : fator de conversão de N em N₂O [44/28]

10^{-6} : fator de conversão de kg para Gg

Dados de Atividade: Área (A), para a estimativa das emissões diretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e) utilizou mapas dos biomas municipais, não sendo necessário a realização da alocação. Para a definição dos biomas dos municípios foi utilizada como base a sede administrativa.

Fator de emissão de N₂O e demais variáveis: Para o cálculo de emissões indiretas da mineralização de N associado à perda de carbono no solo foram utilizados as variáveis e fator de emissão disponíveis no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.13 Calagem

Emissões diretas de CO₂ provenientes do uso de calcário

Para estimativa das emissões diretas de CO₂ por uso de calcário foi adotada a metodologia descrita em MCTI (2023c), dada pela seguinte equação:

$$E_{UC} = U_c \times EF$$

Equação 96

Onde:

E_{UC} : emissão de CO₂ de uso de calcário [Gg de CO₂]

U_c : quantidade de calcário utilizado [10³ toneladas]

EF : fator de emissão [0,477 t CO₂/t calcário dolomítico]

DADOS DE ATIVIDADE: CONSUMO DE CALCÁRIO

Dados de atividade estaduais

Os dados de consumo de calcário foram obtidos através da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), seguindo a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e).

As informações correspondem ao consumo aparente de calcário por estado e estão disponíveis para o período de 1988 a 2023 (ABRACAL, 2021a e 2023b). Como a ABRACAL não disponibiliza o consumo aparente de calcário para todos os estados, os classificando como “Outros estados”. Para esses casos, o consumo de calcário do estado foi obtido através da multiplicação do consumo de Outros estados com a proporção da área plantada dos respectivos estados pela área total dos estados contidos na categoria “Outros estados”.

Para o período de 1970 a 1987 os dados de consumo aparente por estado foram obtidos através da área plantada multiplicação da proporção da área plantada pela área colhida por estado para o ano de 1988 com os valores de área colhida de cada estado para o período de 1970 a 1987. A área plantada total do estado será igual ao somatório das áreas plantadas dos respectivos municípios. Para os anos de 1970 a 1973 os dados por estado foram extraídos do banco de dados da FAO (UN, 2021b), enquanto para o período de 1974 a 1987 os dados foram extraídos da Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2021a).

O consumo de calcário para o período de 1970 a 1987 será obtido pela multiplicação da área plantada no ano correspondente com a proporção do consumo de calcário em 1988 pela área plantada em 1988.

Os dados de áreas plantadas se baseiam nas áreas plantadas da cana-de-açúcar, das culturas temporárias e permanentes, conforme relação a seguir, tendo isso aplicado um peso 3 para as culturas temporárias, peso 2 para a cana-de-açúcar e peso 1,5 para as culturas permanentes.

- Culturas temporárias: abacaxi, algodão herbáceo (em caroço), alho, amendoim (em casca), arroz (em casca), aveia (em grão), batata-doce, batata-inglesa, cebola (em grão), centeio (em grão), cevada (em grão), ervilha (em grão), fava (em grão), feijão (em grão), fumo (em grão), girassol (em grão), juta (fibra), linho (semente), malva (fibra), mamona (baga), mandioca, melancia, melão, milho (em grão), rami (fibra), soja (em grão), sorgo (em grão), tomate, trigo (em grão) e triticale (em grão);

- Culturas permanentes: abacate, algodão arbóreo (em caroço), açaí, azeitona, banana (cacho), borracha (látex coagulado), borracha (látex líquido), cacau (em amêndoa), café (em grão) total, caju, caqui, castanha de caju, chá-da-índia (folha verde), coco-da-baía, dendê (cacho de coco), erva-mate (folha verde), figo, goiaba, guaraná (semente), laranja, limão, maçã, mamão, manga, maracujá, marmelo, noz (fruto seco), palmito, pera, pêssego, pimenta-do-reino, sisal ou agave (fibra), tangerina, tungue (fruto seco), urucum (semente) e uva.

Dados de atividade municipais

Os dados de atividade municipais se baseiam nas áreas plantadas da cana-de-açúcar, das culturas temporárias e permanentes, conforme relação apresentada dos dados de atividade estaduais.

Para o período de 1988 a 2023, a área total plantada do município será dada pela equação a seguir. O somatório das áreas plantadas municipais será igual a área plantada do município.

$$\begin{aligned} & \textit{Totalde área plantada}_{\textit{município}} \\ &= \sum (\textit{culturas temporárias} \times 3) + \textit{Cana - de - açúcar} \times 2 \\ &+ \sum (\textit{culturas permanentes} \times 1,5) \end{aligned}$$

Equação 97

Já a área plantada para o período de 1970 a 1987 será dada pela multiplicação da proporção da área plantada pela área colhida do município para o ano de 1988 com os valores de área plantada do respectivo estado para o período de 1970 a 1987.

$$\begin{aligned} \textit{Área plantada}_{\textit{município}1970-1987} \\ = \textit{Proporção}_{\textit{município}1988} \times \textit{Área plantada}_{\textit{estados}1970-1987} \end{aligned}$$

Equação 98

O consumo aparente de calcário do município será dado pela seguinte equação:

$$\textit{Uso calcário}_{\textit{município}} = \frac{\textit{Uso calcário}_{\textit{estado}} \times \textit{Área plantada}_{\textit{município}}}{\textit{Área plantada}_{\textit{estado}}}$$

Equação 99

Fator de emissão

O fator de emissão utilizado foi extraído do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.14 Aplicação de ureia

Essa categoria trata da emissão de CO₂ da aplicação de ureia. A emissão de N₂O decorrente do uso de ureia em fertilizantes é apresentada na categoria de Solos Manejados.

Emissões diretas de CO₂

Para estimativa das emissões diretas de CO₂ pela aplicação de ureia foi adotada a metodologia descrita no Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2020e), dada pela seguinte equação:

$$E_{AU} = A_u \times EF \times 10^{-3}$$

Equação 100

Onde,

E_{AU} : emissão de CO₂ de aplicação de ureia [Gg de CO₂]

A_u : quantidade de ureia aplicada [toneladas]

EF : fator de emissão [1,63 tCO₂/t ureia aplicada]

10^{-3} : fator de conversão de ton para Gg.

Dados de Atividade: Consumo de ureia

A quantidade de ureia utilizada é obtida da quantidade de fertilizante sintético aplicado no campo. O processo de obtenção desse dado para estados e municípios é o mesmo utilizado para obtenção dos dados de atividade para o cálculo das emissões diretas de N₂O de fertilizantes sintéticos.

Fator de emissão

O fator de emissão utilizado foi extraído do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional (BRASIL, 2020e).

2.15 Queima de resíduos agrícolas

Emissões de CH₄, N₂O, NO_x e CO

Para a estimativa das emissões de gases de CH₄, CO, N₂O e NO_x na queima de resíduos de algodão foi replicada a metodologia do Relatório de Referência do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções (BRASIL, 2021c) de acordo com a seguinte equação:

$$Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s} = Aq \times BC \times Cf \times EF \times 10^{-6}$$

Equação 101

Onde:

Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s}: emissão do tipo de gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) [Gg de gás];

Aq: área em que ocorre a queima de resíduos agrícola [ha];

BC: biomassa disponível para combustão da cultura [ton/ha];

Cf: fator de combustão [0,8, adimensional];

EF: fator de emissão específico de cada gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) de matéria seca queimada [g/kg];

Dados de Atividade: Área queimada (*Aq*)

A área queimada foi obtida através da equação:

$$Aq = Ac \times \%Cm$$

Equação 102

Onde:

Aq: área em que ocorre a queima de resíduos agrícola [ha];

Ac: área colhida [ha];

%Cm: porcentagem de colheita manual [%]

Para o período de 1974 a 2023 tanto para estados quanto para municípios, a área colhida (*Ac*) foi obtida a partir dos dados da Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2023a). Como a queima ocorre para as culturas de algodão e cana-de-açúcar, somente essas foram consideradas no cálculo. Para o período de 1970 a 1973 os dados foram alocados pela multiplicação da área nacional do respectivo ano no banco de dados da FAO (UN, 2021b) com a proporção da área colhida do estado e município no total nacional da Tabela 5457 (IBGE, 2023a).

Já o percentual de colheita manual (*%Cm*) para o período de 1970 a 2023 foi extraído da série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (BRASIL, 2023d). Como esses dados são disponibilizados numa base estadual, para o cálculo da área queimada por município foi adotado o valor do estado correspondente.

Biomassa para combustão (*BC*)

A quantidade de biomassa disponível para combustão foi obtida através da equação a seguir.

$$BC = P \times R_{\text{palhiço/colmo}}$$

Equação 103

Onde:

BC: biomassa disponível para combustão da cultura [ton/ha];

P: produtividade [ton/ha];

R_{palhiço/colmo}: relação entre palhiço e colmo da cultura [0,187 para cana-de-açúcar]

A produtividade é obtida através da divisão da produção [ton] pela área plantada [ha]. Ambos dados foram extraídos da Tabela 5457 da PAM (IBGE, 2023a).

As emissões provenientes da queima dos resíduos do algodão seguiram a metodologia do 3º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE, a mesma utilizada no 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE. O cálculo é detalhado no item a seguir.

Fatores de emissão

Os fatores de emissão utilizados correspondem aos mesmos adotados no Relatório de Referência do 4º Inventário (BRASIL, 2021c).

Queima de Resíduos Agrícolas (algodão)

Para a estimativa das emissões de gases de CH₄, CO, N₂O e NO_x na queima de resíduos (algodão), por ano e por Unidade da Federação, foi calculada de acordo com a metodologia *Tier 2*, segundo o BRASIL (2016), dada pela seguinte equação:

$$Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s} = R \times Rcp \times Fqc \times Fc \times EF \times 10^{-6}$$

Equação 104

Onde:

Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s}: emissão do tipo de gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) [Gg de gás];

R: produção agrícola de algodão [ton];

Rcp: relação palhiço/colmos da cultura de algodão [adimensional];

Fqc: percentual da área de produção da cultura agrícola de algodão [%];

Fc: fator de combustão do algodão [adimensional];

EF: fator de emissão específico de cada gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) de matéria seca queimada [g/kg];

Dados de Atividade: Produção Agrícola (P)

Os dados sobre a produção agrícola dos municípios são obtidos através do SIDRA (IBGE), por meio do eixo de Produção Agrícola Municipal (PAM). Obtendo-se a quantidade produzida algodão em toneladas.

Relação palhiço/colmos (R_{pc})

A relação palhiço/colmos das culturas agrícolas e o fator de combustão dos resíduos de algodão estão disponíveis no Terceiro Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2016).

Percentual da área de produção com queima (F_{qc})

Os dados referentes ao percentual de área de algodão colhida através de queima em campo em cada estado encontram-se publicados no Terceiro Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2016).

No caso do algodão, havia uma legislação federal (Decreto Federal de 24.114, de 12 de abril de 1934) que exigia que seus resíduos deveriam ser destruídos para evitar a disseminação de pragas. Assim, a queima era recomendada como ação para efetuar esse controle. Entretanto, o crescente desenvolvimento e adoção de outras técnicas agrícolas de manejo dos resíduos do algodão (como mecânicas e químicas), principalmente a partir da década de 1990, levaram a uma queda gradativa na prática da queima ao longo dos anos que, segundo especialistas, foi eliminada por volta de 1995 (BRASIL, 2016).

Assim, no 3º Inventário foi considerado que houve uma queda gradativa de 50% para zero como fração das áreas que ainda praticavam a queima no período 1990-1995. Assim, para

os cálculos do SEEG foi seguido o mesmo raciocínio para estimar a área queimada do algodão no período 1970-1989, mas em sentido reverso, de acordo com os seguintes passos:

1º Passo: o 3º Inventário (BRASIL, 2016) assumiu que, em 1990, 50% da área colhida nos estados produtores era queimada, com redução dessa porcentagem em 10% ao ano, até que em 1995 já não havia mais queima;

2º Passo: o SEEG assumiu a mesma taxa de 10%, mas agora de aumento da queima, para os anos anteriores a 1990, até atingir 100% (em 1985), com manutenção dessa taxa de 100% até 1970.

Assim, até 1994, consideram-se as emissões de queima de resíduos a soma das emissões da cana-de-açúcar e do algodão. Após esta data houve apenas emissões por cultivo de cana.

Fator de combustão (F_c) e fator de emissão (EF)

Já os fatores de emissão de GEE e CO e NOx estão disponíveis no Terceiro Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2015).

Tabela 7 – Fatores utilizados no cálculo da queima de algodão

Fator de Combustão (F_c)	
Algodão	0,9
Fator de Emissão (EF) (kg de gás /kg biomassa seca queimada)	
CH ₄	0,0027
CO	0,0920
N ₂ O	0,00007
NOx	0,0025

2.16 Emissões e remoções não contabilizadas no Inventário Nacional

Adicionalmente às emissões de GEE contempladas nos subsetores supracitados, há aquelas não contabilizadas pelo Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas, referidas neste relatório como NCI. Dessa forma, a seguir estão apresentadas as emissões

e remoções de CO₂ por solos agrícolas e emissões de CH₄, N₂O, CO e NO_x oriundas da queima de áreas com pastagens (não havendo distinção sobre a origem da queima, sendo acidental ou prática de manejo).

2.16.1 EMISSÕES E REMOÇÕES PELOS SOLOS AGRÍCOLAS

Nas emissões e remoções pelos solos agrícolas foram consideradas as situações de cobertura do solo: áreas com pastagens (baixo, médio e alto vigor), áreas com Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, áreas com Sistema Agroflorestais, áreas com florestas plantadas e finalmente, áreas com lavouras (Sistema de Plantio Direto - SPD, Plantio Direto - PD e Plantio Convencional - PC).

É importante ressaltar que, nesta versão do SEEG, as áreas com Lavouras sob sistemas conservacionistas foram divididas como Sistema de Plantio Direto e Plantio Direto. De modo conservador, de acordo com o que é relatado em publicações, afim de melhor representar às práticas de plantio. Neste cenário, na equação 105 está representado o cálculo das emissões e remoções de carbono pelos solos agrícolas, a seguir:

$$E_{NCI} = \sum (A \times EF \times 10^{-3})$$

Equação 105

Onde:

E_{NCI} : emissão e remoção NCI [Gg de CO₂];

A : área [ha];

EF : fator de emissão [ton CO₂/ha];

10^{-3} : fator de conversão de ton para Gg

O cálculo das emissões e remoções NCI foi realizado apenas para os estados e contempla o período de 1990 a 2023, devido à ausência de um detalhamento das informações por município, bem como de série histórica anterior a 1990 para todas as fontes de emissão e remoção.

Dados de Atividade: Área (A), para o cálculo das emissões NCI foi utilizado como dado de atividade a área plantada de acordo com o tipo de sistema de plantio bem como as áreas de pastagens, florestas plantadas, sistemas agroflorestais e integração lavoura-pecuária-floresta. As áreas de pastagens e florestas plantadas foram extraídas do Mapbiomas (Mapbiomas, 2023 – Coleção 9), enquanto as áreas de integração lavoura-pecuária-floresta foram estimadas a partir de informações da Rede ILPF. Finalmente, as áreas com lavoura SPD, PD, e PC foram estimadas a partir do cruzamento de informações das tabelas 5457, 839, 1000, 1001 e 1002 da PAM (IBGE, 2023a), informações publicadas pela Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto (FBSPD, 2018) e artigos científicos.

Fator de emissão. A relação de fatores de emissão utilizados para os cálculos das emissões e remoções NCI, bem como suas respectivas fontes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 8– Relação de fatores de emissão e remoção NCI por cobertura do solo

CATEGORIA	FATOR DE EMISSÃO	REFERÊNCIA
Pastagem		
Baixo Vigor (Degradação Severa)	1,03	Maia et al., (2009)
Médio Vigor (Degradação Moderada)	0,11	Maia et al., (2009)
Alto Vigor (Bem Manejada)	-2,24	Maia et al., (2009)
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-5,51	Oliveira et al., (2024)
Florestas Plantadas	-0,81	Lima et al., (2006)
Lavouras		
Sistema Plantio Convencional	1,47	Costa Junior et al., (2013)
Lavoura sob Plantio Direto	-0,44	Costa Junior et al., (2013)
Lavoura sob Sistema Plantio Direto	-1,84	Cerri et al., (2007)

2.16.2 EMISSÕES PROVENIENTES DA QUEIMA DAS ÁREAS DE PASTAGEM

Emissões de CH₄, N₂O, NO_x e CO

Para a estimativa das emissões de gases CH₄, CO, N₂O e NO_x pela queima de áreas com pastagem foi utilizada a metodologia proposta pelo IPCC (2006), de acordo com a equação 106. É importante ressaltar que, as emissões de CO₂ originadas pela queima das áreas com pastagem, tal como para as áreas com cana-de-açúcar, são consideradas como biogênicas, portanto, não somadas às emissões totais do setor agropecuário.

$$Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s} = Aq \times BC \times Cf \times EF \times 10^{-6}$$

Equação 106

Onde:

$Emiss\tilde{a}o_{G\acute{a}s}$: emissão do tipo de gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) [Gg de gás];

Aq : área com pastagem em que ocorre a queima [ha];

BC : biomassa disponível para combustão relacionado às pastagens tropicais [ton/ha];

Cf : fator de combustão [0,35, adimensional];

EF : fator de emissão específico de cada gás (N₂O, NO_x, CO, CH₄) de matéria seca queimada [g/kg];

Dados de Atividade: Área queimada (*Aq*) para o cálculo das emissões NCI foi utilizado como dado de atividade as áreas queimadas de pastagens que permaneceram como pastagens, por bioma por UF, publicadas pelo MapBiomias Fogo Coleção 3 (2024).

Fatores de conversão e de emissão

A quantidade de biomassa disponível para queima nas áreas de pastagens que permaneceram como pasto (*BC*) foi obtida a partir dos valores reportados pelo 4º Inventário Nacional, referente ao setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, o qual indica por bioma o estoque de carbono acima e abaixo do solo nas áreas de pastagens. Assim, para obter a quantidade de biomassa referente as áreas de pastagens queimadas por bioma, realizou-se o cálculo da conversão dos estoques de carbono para biomassa ao multiplicar por 2. Para determinar somente a biomassa acima do solo, utilizou-se o fator de expansão para biomassa de subterrânea de 1,6 vezes maior do que a biomassa acima do solo, de acordo com o método de cálculo do IPCC (2006). Assim, a partir das taxas apresentadas pelo relatório referencial do setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (MCTI, 2020f), foram empregados os seguintes estoques de biomassa acima do solo:

Área de pasto por Bioma	Estoque de C em pastagem (tC/ha)	Estoque de biomassa acima do solo em pastagem (t/ha)
Amazônia	10,00	7,69
Caatinga	1,19	0,92
Cerrado	7,57	5,82
Mata Atlântica	2,60	3,25
Pampa	7,57	5,82
Pantanal	7,57	5,82

Fonte: MCTI, 2020f.

Para os fatores de emissão por biomassa queimada (g/kg) foram utilizados os fatores para os gases CO₂, CO, CH₄, N₂O, e NO_x, de acordo com o indicado pelo IPCC (2006) para a categoria de savana e pastagens.

3. Conversão para emissões equivalentes em CO₂

Os resultados das emissões de CH₄ e N₂O calculadas para todas as fontes de emissão pela agropecuária acima mostrados também foram expressos em termos de equivalentes de CO₂ (CO₂e), utilizando as métricas GWP e GTP apresentados na Tabela 1. Os cálculos de conversão são dados pelas equações 107 e 108, abaixo:

$$Emissão\ CO_2e_{GWP} = \sum [(CO_2 \times GWP_{CO_2}) + (CH_4 \times GWP_{CH_4}) + (N_2O \times GWP_{N_2O})]$$

Equação 107

Onde:

EmissãoCO₂e_{GWP} = emissão de gases de efeito estufa em equivalentes de CO₂ (CO₂e) de acordo com *Global Warming Potential* (GWP) [Gg CO₂e]

CO₂: emissão de CO₂ calculadas [Gg de CO₂]

CH₄: emissão de CH₄ calculadas [Gg de CH₄]

N₂O: emissão de N₂O calculadas [Gg de N₂O]

GWP_{CO₂}: fator de conversão das emissões de CO₂ em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 1).

GWP_{CH₄}: fator de conversão das emissões de CH₄ em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 1).

GWP_{N₂O}: fator de conversão das emissões de N₂O em CO₂e, de acordo com o *Assessment Report* do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 1).

Adicionalmente, as emissões de CO e NO_x geradas pela queima de resíduos agrícolas não são de reporte obrigatório, elas foram reportadas em Gg de CO e Gg de NO_x, respectivamente, sendo apresentadas a parte das demais estimativas.

$$Emiss\tilde{a}o\ CO_2e_{GTP} = \sum [(CO_2 \times GTP_{CO_2}) + (CH_4 \times GTP_{CH_4}) + (N_2O \times GTP_{N_2O})]$$

Equação 108

Onde:

EmissãoCO₂e_{GTP} = emissão de gases de efeito estufa em equivalentes de CO₂ (CO₂e) de acordo com Global Temperature Potential (GTP) [Gg CO₂e]

CO₂: emissão de CO₂ calculadas [Gg de CO₂]

CH₄: emissão de CH₄ calculadas [Gg de CH₄]

N₂O: emissão de N₂O calculadas [Gg de N₂O]

GTP_{CO₂}: fator de conversão das emissões de CO₂ em CO₂e, de acordo com o Assessment Report do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 1).

GTP_{CH₄}: fator de conversão das emissões de CH₄ em CO₂e, de acordo com o Assessment Report do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 1).

GTP_{N₂O}: fator de conversão das emissões de N₂O em CO₂e, de acordo com o Assessment Report do IPCC (AR2, AR4, AR5 e AR6 – Tabela 1).

4. Qualidade dos dados

Dada a complexidade dos cálculos necessários para consolidar o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa e devido à opção de usar apenas dados disponíveis de forma pública e gratuita, considerou-se necessário divulgar uma avaliação da qualidade dos dados através de alguns critérios (tabela abaixo). Assim, qualquer usuário ou leitor pode aferir a confiabilidade de cada cálculo e, eventualmente, contribuir para aumentar a robustez dos dados.

4.1 Critérios de Avaliação

Na Figura 2 a seguir são apresentados os critérios de avaliação para qualificação dos dados utilizados para o cálculo das emissões de GEE do setor agropecuário pelo SEEG para o período de 1970 a 2023.

Figura 2 – Critérios de avaliação dos dados

Aspecto	Valores
TIER	1 Tier 1 do IPCC - fatores globais 2 Tier 2 do IPCC - fatores nacionais ou regionais 3 Tier 3 do IPCC - fatores específicos por planta
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1 dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 2o inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não seja público). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados. 2 dados incompletos 3 dados não existentes
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 dados disponíveis de forma pública e gratuita 2 dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica) 3 dados não disponíveis
FATORES DE EMISSÃO	1 fator explícito, com referência 2 fator implícito com correlação R2 maior ou igual a 0,7 3 fator implícito com correlação R2 menor que 0,7
NECESSIDADE APRIMORAMENTO	1 sem necessidade de aprimoramento 2 necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo 3 necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
QUALIDADE GERAL DO DADO	1 dado confiável; capaz de reproduzir 2o inventário 2 dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas 3 dado pouco confiável ou de difícil avaliação

4.2 Análise da qualidade dos dados

A Figura 3 apresenta a qualidade dos dados utilizados para os cálculos das emissões de GEE do setor agropecuário em nível nacional (resultados em GWP AR5 – toneladas). Nota-se que a grande maioria dos dados utilizados apresentam boa qualidade (1) para padrão de inventário. Os comentários relativos aos motivos das classificações de número (2) e (3) podem ser encontrados na planilha de qualificação dos dados disponível no website do SEEG.

Figura 3 – Análise da qualidade dos dados a nível nacional

Setor/ Sub-Sector / Categorias	Tier			Nível de Atividade		Fator de Emissão	Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral do Dado	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
	3º inventário	4º inventário	SEEG	Existência do Dado	Disponibilidade do Dado							
Agropecuária									28%	631.176.931	96,7%	100,0%
Cultivo do Arroz												
Arroz	ND	2	2	2	1	2	2	1	0,4%	9.219.062	1,5%	1,5%
Fermentação Entérica												
Asinino	ND	1	1	2	1	1	1	1	0,0%	107.731	0,0%	0,0%
Bubalino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	2.576.352	0,4%	0,4%
Caprino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	1.804.809	0,3%	0,3%
Equino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	2.922.955	0,5%	0,5%
Gado de Corte	ND	2	2	1	1	1	1	1	15,5%	355.111.605	56,3%	56,3%
Gado de Leite	ND	2	2	1	1	1	1	1	1,7%	38.072.115	6,0%	6,0%
Muar	ND	1	1	2	1	1	1	1	0,0%	238.456	0,0%	0,0%
Ovino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	3.050.899	0,5%	0,5%
Suínos	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,1%	1.203.931	0,2%	0,2%
Manejo de Dejetos Animais												
Asinino	ND	2	2	2	1	1	1	1	0,0%	12.640	0,0%	0,0%
Aves	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,1%	2.163.765	0,3%	0,3%
Bubalino	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	83.660	0,0%	0,0%
Caprino	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	78.906	0,0%	0,0%
Equino	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	311.163	0,0%	0,0%
Gado de Corte	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,4%	9.396.229	1,5%	1,5%
Gado de Leite	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,2%	4.209.519	0,7%	0,7%
Muar	ND	2	2	2	1	1	1	1	0,0%	26.368	0,0%	0,0%
Ovino	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	114.685	0,0%	0,0%
Suínos	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,5%	12.354.539	2,0%	2,0%
Queima de Resíduos Agrícolas												
Algodão	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	-	0,0%	0,0%
Cana-de-açúcar	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	313.322	0,0%	0,0%
Solos Manejados												
Animal												
Asinino	ND	1	1	2	1	1	1	1	0,0%	49.835	0,0%	0,0%
Aves	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	1.624.285	0,3%	0,3%
Bubalino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,0%	749.831	0,1%	0,1%
Caprino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,0%	879.668	0,1%	0,1%
Equino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	1.375.228	0,2%	0,2%
Gado de Corte	ND	2	2	1	1	1	1	1	2,3%	53.124.136	8,4%	8,4%
Gado de Leite	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,4%	9.604.328	1,5%	1,5%
Muar	ND	1	1	2	1	1	1	1	0,0%	110.306	0,0%	0,0%
Ovino	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,0%	779.936	0,1%	0,1%
Suínos	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,1%	1.393.828	0,2%	0,2%
Insumo												
Aplicação de Uréia	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,2%	5.172.400	0,8%	0,8%
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	ND	2	2	1	2	2	2	1	1,4%	32.439.978	5,1%	5,1%
Calagem	ND	1	1	1	1	1	1	1	1,3%	29.386.014	4,7%	4,7%
Solo												
Manejo do solo	ND	2	2	1	2	1	3	2	0,2%	4.416.275	0,0%	0,7%
Subproduto												
Torta de Filtro	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,1%	2.700.785	0,4%	0,4%
Vinhaça	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	457.569	0,1%	0,1%
Vegetal												
Arroz	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	572.060	0,1%	0,1%
Cana-de-açúcar	ND	2	2	1	1	2	3	2	0,2%	3.840.417	0,6%	0,6%
Feijão	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	417.667	0,1%	0,1%
Mandioca	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	243.690	0,0%	0,0%
Milho	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,5%	10.394.871	1,6%	1,6%
Outras culturas	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,0%	988.346	0,2%	0,2%
Pastagem	ND	2	2	1	2	2	3	2	0,5%	12.605.294	0,0%	2,0%
Soja	ND	2	2	1	2	1	1	1	0,6%	14.024.651	2,2%	2,2%
Trigo	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,0%	452.821	0,1%	0,1%

5. Resultados

Os resultados obtidos nesta versão 12, para os anos 1970, 1980, 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2023 em função das conversões GWP e GTP por categoria emissora, estão apresentados na forma de tabelas, a seguir.

5.1 Emissões totais do Brasil

Tabela 9 - Emissões totais de CO₂e (GWP-AR6) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	6.063.572,73	7.997.779,19	8.941.662,26	9.942.845,87	10.410.749,07	10.408.296,43	11.481.636,61	8.889.810,00
Fermentação Entérica	146.394.047,67	220.218.018,49	272.390.725,86	301.055.318,19	355.117.935,37	355.209.538,19	355.708.958,65	390.621.395,12
Manejo de Dejetos Animais	10.290.847,33	14.068.279,07	16.516.549,68	17.679.186,38	20.386.963,75	22.199.266,81	25.466.079,25	27.976.401,41
Queima de Resíduos Agrícolas	631.702,30	1.188.428,65	1.869.229,79	1.779.225,01	2.310.575,16	2.038.778,48	653.175,75	310.706,35
Solos Manejados	43.273.933,35	66.710.691,36	81.217.679,63	97.538.494,75	118.986.685,29	133.674.887,28	147.765.258,36	192.430.506,00
Total Geral	206.654.103,37	310.183.196,75	380.935.847,22	427.995.070,20	507.212.908,64	523.530.767,19	541.075.108,61	620.228.818,88

Tabela 10 - Emissões totais de CO₂e (GTP-AR6) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	1.055.510,81	1.392.206,01	1.556.511,58	1.730.791,69	1.812.241,50	1.811.814,56	1.998.655,26	1.547.485,44
Fermentação Entérica	25.483.408,30	38.334.247,66	47.416.163,39	52.405.925,76	61.816.825,79	61.832.771,46	61.919.707,62	67.997.057,67
Manejo de Dejetos Animais	2.540.378,09	3.804.852,57	4.190.299,54	4.625.518,81	5.224.430,69	5.836.621,49	6.721.200,59	7.543.813,65
Queima de Resíduos Agrícolas	267.344,43	524.283,54	853.697,49	831.160,46	1.079.379,33	952.410,20	305.129,40	145.145,68
Solos Manejados	37.075.168,54	57.592.990,21	70.399.090,26	84.807.914,89	103.014.953,67	116.097.022,80	128.685.686,29	169.299.064,00
Total Geral	66.421.810,17	101.648.579,99	124.415.762,26	144.401.311,60	172.947.830,99	186.530.640,53	199.630.379,15	246.532.566,45

Tabela 11 - Emissões totais de CO₂e (GWP-AR5) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	6.288.149,49	8.293.993,23	9.272.834,93	10.311.099,42	10.796.332,37	10.793.788,89	11.906.882,41	9.219.062,23
Fermentação Entérica	151.816.049,44	228.374.241,40	282.479.271,26	312.205.515,16	368.270.451,50	368.365.447,01	368.883.364,53	405.088.854,20
Manejo de Dejetos Animais	10.598.852,36	14.456.925,69	16.999.850,44	18.182.812,48	20.978.422,41	22.828.874,77	26.185.832,83	28.751.474,66
Queima de Resíduos Agrícolas	639.731,06	1.201.450,90	1.886.873,01	1.794.205,50	2.330.029,45	2.055.944,33	658.675,27	313.322,39
Solos Manejados	42.034.180,39	64.887.151,13	79.053.961,76	94.992.378,78	115.792.338,96	130.159.314,38	143.949.343,95	187.804.217,60
Total Geral	211.376.962,73	317.213.762,34	389.692.791,41	437.486.011,34	518.167.574,68	534.203.369,38	551.584.098,98	631.176.931,08

Tabela 12 - Emissões totais de CO₂e (GTP-AR5) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	898.307,07	1.184.856,18	1.324.690,70	1.473.014,20	1.542.333,20	1.541.969,84	1.700.983,20	1.317.008,89
Fermentação Entérica	21.688.007,06	32.624.891,63	40.354.181,61	44.600.787,88	52.610.064,50	52.623.635,29	52.697.623,50	57.869.836,31
Manejo de Dejetos Animais	2.306.198,55	3.499.171,76	3.819.371,07	4.234.588,11	4.768.853,67	5.346.981,16	6.160.623,45	6.934.948,78
Queima de Resíduos Agrícolas	257.821,11	507.295,97	828.244,64	807.741,89	1.048.967,01	925.575,33	296.532,15	141.056,10
Solos Manejados	37.230.137,66	57.820.932,74	70.669.554,99	85.126.179,38	103.414.246,96	116.536.469,42	129.162.675,59	169.877.350,05
Total Geral	62.380.471,46	95.637.148,27	116.996.043,01	136.242.311,46	163.384.465,33	176.974.631,04	190.018.437,89	236.140.200,13

Tabela 13 - Emissões totais de CO₂e (GWP-AR4) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	5.614.419,19	7.405.351,10	8.279.316,90	9.206.338,77	9.639.582,47	9.637.311,51	10.631.145,01	8.231.305,56
Fermentação Entérica	135.550.044,14	203.905.572,68	252.213.635,06	278.754.924,25	328.812.903,12	328.897.720,55	329.360.146,90	361.686.476,96
Manejo de Dejetos Animais	9.711.181,65	13.356.780,06	15.613.765,88	16.747.049,80	19.285.351,61	21.035.753,69	24.137.603,98	26.555.998,89
Queima de Resíduos Agrícolas	623.281,46	1.177.785,88	1.859.578,85	1.774.566,19	2.304.525,03	2.033.440,03	651.465,44	309.892,78
Solos Manejados	47.148.161,35	72.409.254,57	87.979.297,99	105.495.107,17	128.969.017,55	144.661.052,58	159.689.990,91	206.887.657,26
Total Geral	198.647.087,78	298.254.744,29	365.945.594,68	411.977.986,18	489.011.379,78	506.265.278,36	524.470.352,22	603.671.331,45

Tabela 14 - Emissões totais de CO₂e (GTP-AR4) no setor agropecuário de 1970 a 2023(t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	1.122.883,84	1.481.070,22	1.655.863,38	1.841.267,75	1.927.916,49	1.927.462,30	2.126.229,00	1.646.261,11
Fermentação Entérica	27.110.008,83	40.781.114,54	50.442.727,01	55.750.984,85	65.762.580,62	65.779.544,11	65.872.029,38	72.337.295,39
Manejo de Dejetos Animais	2.791.887,24	4.209.479,11	4.614.669,54	5.105.446,10	5.757.804,19	6.444.469,46	7.423.199,60	8.344.326,00
Queima de Resíduos Agrícolas	303.184,71	595.615,61	971.217,02	946.421,92	1.229.062,63	1.084.486,01	347.443,32	165.273,81
Solos Manejados	42.809.025,99	66.026.863,77	80.406.285,43	96.583.701,26	117.788.805,42	132.356.547,44	146.334.290,45	190.695.647,85
Total Geral	74.136.990,60	113.094.143,24	138.090.762,39	160.227.821,88	192.466.169,36	207.592.509,33	222.103.191,75	273.188.804,16

Tabela 15 - Emissões totais de CO₂e (GWP-AR2) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	4.716.112,12	6.220.494,92	6.954.626,20	7.733.324,56	8.097.249,28	8.095.341,66	8.930.161,80	6.914.296,67
Fermentação Entérica	113.862.037,08	171.280.681,05	211.859.453,45	234.154.136,37	276.202.838,62	276.274.085,26	276.662.523,39	303.816.640,65

Manejo de Dejetos Animais	8.398.396,22	11.655.984,16	13.538.745,70	14.565.621,82	16.738.838,87	18.304.648,98	21.011.852,13	23.167.385,90
Queima de Resíduos Agrícolas	574.196,04	1.091.470,78	1.732.038,15	1.658.417,15	2.153.689,08	1.900.347,16	608.825,67	289.609,65
Solos Manejados	49.007.790,79	75.144.564,92	91.224.874,80	109.314.281,13	133.760.537,03	149.934.411,92	165.413.862,53	213.827.089,86
Total Geral	176.558.532,26	265.393.195,83	325.309.738,30	367.425.781,03	436.953.152,89	454.508.834,99	472.627.225,52	548.015.022,73

Tabela 16 - Emissões totais de CO₂e (GTP-AR2) no setor agropecuário de 1970 a 2023 (t)

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de Arroz	1.122.883,84	1.481.070,22	1.655.863,38	1.841.267,75	1.927.916,49	1.927.462,30	2.126.229,00	1.646.261,11
Fermentação Entérica	27.110.008,83	40.781.114,54	50.442.727,01	55.750.984,85	65.762.580,62	65.779.544,11	65.872.029,38	72.337.295,39
Manejo de Dejetos Animais	2.791.887,24	4.209.479,11	4.614.669,54	5.105.446,10	5.757.804,19	6.444.469,46	7.423.199,60	8.344.326,00
Queima de Resíduos Agrícolas	303.184,71	595.615,61	971.217,02	946.421,92	1.229.062,63	1.084.486,01	347.443,32	165.273,81
Solos Manejados	42.809.025,99	66.026.863,77	80.406.285,43	96.583.701,26	117.788.805,42	132.356.547,44	146.334.290,45	190.695.647,85
Total Geral	74.136.990,60	113.094.143,24	138.090.762,39	160.227.821,88	192.466.169,36	207.592.509,33	222.103.191,75	273.188.804,16

5.2 Emissões totais NCI do Brasil

Tabela 17 - Emissões e remoções de CO₂e (GWP-AR5) pelo solo utilizado pela agropecuária (t)
- Não Contabilizada no Inventário Nacional (NCI)

AGROPECUÁRIA	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2023
Aumento do estoque de C no solo							
Remoção NCI	-2.739.634,14	-5.499.625,77	-	-	-	-	-
Florestas plantadas	-2.092.246,14	-2.766.209,77	-3.104.580,50	-3.556.999,64	-4.948.910,11	-6.400.717,08	-7.218.451,58
Lavouras cultivadas sob plantio direto	-317.088,00	-1.338.816,00	-5.038.176,00	-8.314.752,00	-9.929.487,09	-11.111.145,95	-13.922.115,03
Lavouras cultivadas sob sistema plantio direto	-330.300,00	-1.394.600,00	-5.248.100,00	-8.661.200,00	-10.343.215,72	-11.574.110,36	-14.502.203,16
Pastagens de alto vigor	0,00	0,00	-87.650.825,92	-102.772.528,32	-113.358.636,16	-115.046.050,56	-132.495.121,92
Sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta	0,00	0,00	0,00	-10.239.300,00	-30.332.550,00	-63.132.022,62	-115.549.950,00
Redução do estoque de C no solo							
Emissão NCI	66.992.207,89	62.023.000,00	105.854.903,87	99.964.398,02	87.426.160,58	94.783.589,69	92.607.677,76
Lavouras cultivadas sob sistema convencional	66.992.207,89	62.023.000,00	45.929.950,18	43.015.365,36	35.711.366,46	41.282.155,81	47.690.303,92
Pastagens de baixo vigor	0,00	0,00	53.188.354,37	49.563.993,46	44.173.823,21	46.397.889,85	37.304.733,64
Pastagens de médio vigor	0,00	0,00	6.736.599,32	7.385.039,20	7.540.970,91	7.103.544,03	7.612.640,20
Prática de queima de pasto							
Emissão NCI	934.839,32	1.373.411,73	1.591.183,57	2.409.489,74	1.957.633,88	1.808.532,56	1.192.787,70
Pastagem	934.839,32	1.373.411,73	1.591.183,57	2.409.489,74	1.957.633,88	1.808.532,56	1.192.787,70
Total Geral	65.187.413,07	57.896.785,96	6.404.405,01	-31.170.892,20	-79.529.004,61	-110.671.924,31	-189.887.376,23

5.3 Emissões totais desagregadas por fonte emissora – nível País

Tabela 18 - Emissões de GEE do Setor Agropecuário desagregadas entre os 5 subsetores (GWP-AR5) de 1970 a 2023 (t CO₂e).

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de arroz	6.288.149,49	8.293.993,23	9.272.834,93	10.311.099,42	10.796.332,37	10.793.788,89	11.906.882,41	9.219.062,23
Diretas	6.288.149,49	8.293.993,23	9.272.834,93	10.311.099,42	10.796.332,37	10.793.788,89	11.906.882,41	9.219.062,23
Arroz	6.288.149,49	8.293.993,23	9.272.834,93	10.311.099,42	10.796.332,37	10.793.788,89	11.906.882,41	9.219.062,23
Fermentação entérica	151.816.049,44	228.374.241,40	282.479.271,26	312.205.515,16	368.270.451,50	368.365.447,01	368.883.364,53	405.088.854,20
Diretas	151.816.049,44	228.374.241,40	282.479.271,26	312.205.515,16	368.270.451,50	368.365.447,01	368.883.364,53	405.088.854,20
Asinino	397.727,79	285.273,61	283.138,24	266.662,76	255.420,20	217.870,55	168.378,02	107.731,41
Bubalino	167.248,62	761.801,04	2.151.529,38	1.697.928,54	1.807.388,66	1.824.146,94	2.110.551,52	2.576.352,24
Caprino	799.223,28	1.165.600,67	1.665.242,18	1.308.553,82	1.442.941,08	1.303.789,78	1.346.922,80	1.804.809,04
Equino	2.448.484,56	2.547.570,49	3.085.243,56	2.939.235,77	2.916.773,50	2.779.183,57	2.797.849,20	2.922.955,08
Gado de corte	120.279.527,76	176.826.819,90	221.693.087,96	256.365.699,84	306.373.570,17	301.589.518,29	306.537.025,87	355.111.604,60
Gado de leite	23.918.333,52	42.890.818,19	49.399.261,99	46.373.915,60	52.025.896,96	56.837.486,42	51.964.329,23	38.072.115,21
Muar	453.251,72	361.748,00	458.288,04	299.885,60	312.345,04	289.380,85	266.564,49	238.456,13
Ovino	2.469.965,20	2.573.334,81	2.802.030,70	2.069.894,12	2.182.325,74	2.433.281,37	2.577.477,17	3.050.899,48
Suínos	882.286,98	961.274,69	941.449,21	883.739,11	953.790,15	1.090.789,23	1.114.266,22	1.203.931,01
Manejo de dejetos animais	10.598.852,36	14.456.925,69	16.999.850,44	18.182.812,48	20.978.422,41	22.828.874,77	26.185.832,83	28.751.474,66

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Diretas	10.050.714,17	13.302.729,43	15.968.745,31	16.908.638,88	19.563.712,33	21.133.500,22	24.236.281,21	26.475.220,43
Asinino	46.843,94	33.921,11	33.543,57	31.615,19	30.241,39	25.780,58	19.872,39	12.640,40
Aves	73.361,66	357.630,80	399.072,61	606.014,74	714.620,92	886.026,43	951.512,27	1.126.573,59
Bubalino	5.221,24	23.511,12	67.879,03	53.524,58	57.052,58	58.032,63	67.936,37	83.660,25
Caprino	34.308,95	50.465,82	71.938,51	56.957,14	62.697,13	56.456,87	58.510,47	78.906,48
Equino	249.757,57	262.157,81	317.944,10	302.536,54	302.807,40	290.927,38	293.927,11	311.162,64
Gado de corte	2.651.627,20	3.862.526,52	4.989.761,75	5.985.812,78	7.193.103,29	7.083.408,56	7.332.476,99	8.926.247,28
Gado de leite	1.037.601,38	1.841.524,89	2.126.208,62	2.684.434,79	3.351.505,13	4.135.551,82	4.498.067,83	4.001.546,46
Muar	47.043,60	38.120,29	48.723,92	32.978,57	34.560,89	32.227,77	29.582,17	26.367,88
Ovino	80.891,55	86.041,58	95.285,93	73.739,67	79.352,26	88.389,31	94.353,13	114.684,64
Suínos	5.824.057,07	6.746.829,48	7.818.387,27	7.081.024,88	7.737.771,35	8.476.698,88	10.890.042,46	11.793.430,82
Indiretas (deposição atmosférica)	548.138,19	1.154.196,26	1.031.105,13	1.274.173,60	1.414.710,08	1.695.374,55	1.949.551,62	2.276.254,22
Aves	114.521,16	605.139,17	432.521,57	592.153,28	675.263,64	819.000,34	875.821,32	1.037.191,52
Gado de corte	1.737,21	7.892,68	50.426,60	130.492,75	153.534,74	183.790,24	268.515,76	469.981,55
Gado de leite	125.487,67	210.215,89	227.914,88	221.140,12	243.838,22	287.084,33	290.687,37	207.972,59
Suínos	306.392,15	330.948,52	320.242,08	330.387,44	342.073,48	405.499,64	514.527,18	561.108,56
Queima de resíduos agrícolas	639.731,06	1.201.450,90	1.886.873,01	1.794.205,50	2.330.029,45	2.055.944,33	658.675,27	313.322,39
Diretas	639.731,06	1.201.450,90	1.886.873,01	1.794.205,50	2.330.029,45	2.055.944,33	658.675,27	313.322,39

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Algodão	186.880,71	207.984,94	131.361,15	-	-	-	-	-
Cana-de-açúcar	452.850,35	993.465,96	1.755.511,86	1.794.205,50	2.330.029,45	2.055.944,33	658.675,27	313.322,39
Solos manejados	42.034.180,39	64.887.151,13	79.053.961,76	94.992.378,78	115.792.338,96	130.159.314,38	143.949.343,95	187.804.217,60
Diretas	3.059.794,48	51.385.742,33	63.173.952,57	76.071.497,83	91.268.585,11	103.574.829,60	115.660.458,67	151.759.519,83
Aplicação de ureia	219.284,41	733.603,21	631.330,87	1.201.867,77	1.876.674,90	2.405.784,52	2.930.992,63	5.172.400,00
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	1.256.790,96	3.470.952,34	3.108.453,33	6.754.853,38	8.967.600,00	11.667.953,32	14.471.738,73	22.066.454,34
Arroz	226.060,64	443.835,44	336.923,75	505.530,52	598.979,94	510.134,17	558.496,87	466.987,78
Asinino	129.110,77	92.605,79	91.912,60	86.564,32	82.914,75	70.725,34	54.659,03	34.971,87
Aves	97.098,34	495.113,86	437.231,72	631.307,82	733.327,07	898.411,56	962.533,33	1.139.849,36
Bubalino	40.145,68	182.859,61	516.444,33	407.563,84	433.838,20	437.860,79	506.608,17	618.417,08
Calagem	748.079,13	3.748.777,82	6.749.476,28	9.450.419,40	8.102.942,10	11.300.177,72	14.616.186,32	29.386.014,31
Cana-de-açúcar	73.133,04	160.439,73	283.506,29	586.087,83	758.252,16	2.438.404,28	3.455.998,91	3.831.795,67
Caprino	273.363,60	398.678,07	569.573,74	447.573,28	493.538,63	445.943,80	460.696,87	617.310,71
Equino	808.416,20	841.131,40	1.018.654,93	970.447,53	963.031,16	917.603,10	923.765,93	965.072,14
Feijão	178.622,86	231.473,41	262.792,85	359.446,30	355.371,39	371.514,83	363.332,56	340.952,79
Gado de corte	12.995.795,20	19.091.173,77	23.860.550,11	28.398.014,86	34.904.497,86	34.761.549,64	36.059.008,03	41.335.558,81
Gado de leite	4.430.549,09	8.036.507,10	9.321.660,90	8.701.598,94	10.042.458,65	11.104.399,26	10.127.451,74	7.459.464,80

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Mandioca	153.007,27	252.131,14	261.333,78	247.602,68	277.986,78	268.263,24	247.769,37	198.930,60
Manejo de solo	2.202.145,19	2.202.145,19	2.202.145,16	2.300.195,16	2.909.690,05	2.936.190,07	2.793.092,76	2.848.214,30
Milho	808.366,48	1.310.110,76	1.372.857,33	2.078.536,23	2.258.107,46	3.560.429,54	5.484.522,76	8.485.608,94
Muar	147.135,00	117.430,98	148.769,90	97.349,15	101.393,74	93.939,08	86.532,42	77.407,85
Outras culturas	462.909,66	416.779,53	283.306,19	348.171,34	567.897,33	478.538,35	551.657,23	806.813,29
Ovino	443.105,41	461.649,65	502.677,10	371.333,68	391.503,63	436.524,42	462.392,78	547.323,52
Pastagem	5.834.975,62	5.834.975,62	7.571.681,04	7.685.337,82	10.083.008,44	9.914.090,73	9.924.166,37	10.290.035,68
Soja	141.784,45	1.140.458,35	1.497.288,88	2.469.732,73	3.851.397,38	5.173.842,69	7.334.134,19	11.448.694,31
Suínos	1.191.453,77	1.301.775,01	1.311.695,37	1.100.856,19	1.077.572,21	1.134.818,71	1.005.836,04	1.036.927,53
Torta de filtro	100.779,76	252.308,82	557.210,26	674.359,42	1.041.914,00	1.659.661,05	1.691.011,86	1.895.287,66
Trigo	91.055,72	129.188,33	147.941,87	82.525,58	222.778,50	295.102,77	263.408,41	369.649,56
Vinhaça	6.626,24	39.637,39	128.534,01	114.222,06	171.908,77	292.966,63	324.465,35	319.376,92
Indiretas (deposição atmosférica)	3.141.792,64	5.134.943,83	6.004.760,88	7.153.846,20	8.875.155,91	9.704.891,04	10.311.834,88	12.905.223,99
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	224.765,39	751.939,51	647.110,89	1.308.784,77	1.875.624,51	2.418.076,56	2.968.732,19	5.063.071,44
Asinino	25.822,15	18.521,16	18.382,52	17.312,86	16.582,95	14.145,07	10.931,81	6.994,37
Aves	19.419,67	99.022,77	87.446,34	126.261,56	146.665,41	179.682,31	192.506,67	227.969,87
Bubalino	4.014,57	18.285,96	51.644,43	40.756,38	43.383,82	43.786,08	50.660,82	61.841,71

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Caprino	54.672,72	79.735,61	113.914,75	89.514,66	98.707,73	89.188,76	92.139,37	123.462,14
Equino	161.683,24	168.226,28	203.730,99	194.089,51	192.606,23	183.520,62	184.753,19	193.014,43
Gado de corte	1.732.907,02	2.546.100,11	3.185.305,72	3.796.491,83	4.665.745,22	4.649.013,16	4.828.525,96	5.547.565,81
Gado de leite	607.381,77	1.099.311,56	1.272.896,38	1.186.205,59	1.365.476,55	1.509.668,50	1.376.177,87	1.009.347,20
Muar	29.427,00	23.486,20	29.753,98	19.469,83	20.278,75	18.787,82	17.306,48	15.481,57
Ovino	88.621,08	92.329,93	100.535,42	74.266,74	78.300,73	87.304,88	92.478,56	109.464,70
Suínos	172.922,08	187.522,98	182.597,40	165.820,58	163.401,21	179.785,08	159.419,60	167.953,21
Torta de filtro	20.155,95	50.461,76	111.442,05	134.871,88	208.382,80	331.932,21	338.202,37	379.057,53
Indiretas (lixiviação/escorrimento superficial)	5.832.593,27	8.366.464,96	9.875.248,30	11.767.034,75	15.648.597,94	16.879.593,74	17.977.050,39	23.139.473,78
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	190.744,62	641.923,76	571.075,00	1.460.415,00	1.934.500,00	2.352.935,00	2.436.145,00	5.310.451,81
Arroz	50.863,64	99.862,97	75.807,84	113.744,37	134.770,49	114.780,19	125.661,80	105.072,25
Asinino	29.049,92	20.836,30	20.680,34	19.476,97	18.655,82	15.913,20	12.298,28	7.868,67
Aves	21.847,13	111.400,62	98.377,14	142.044,26	164.998,59	202.142,60	216.570,00	256.466,11
Bubalino	4.516,39	20.571,71	58.099,99	45.850,93	48.806,80	49.259,34	56.993,42	69.571,92
Cana-de-açúcar	164,55	360,99	637,89	1.318,70	1.706,07	5.486,41	7.776,00	8.621,54
Caprino	61.506,81	89.702,57	128.154,09	100.703,99	111.046,19	100.337,36	103.656,80	138.894,91
Equino	181.893,64	189.254,56	229.197,36	218.350,69	216.682,01	206.460,70	207.847,33	217.141,23

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Feijão	40.190,14	52.081,52	59.128,39	80.875,42	79.958,56	83.590,84	81.749,83	76.714,38
Gado de corte	1.949.520,39	2.864.362,62	3.583.468,94	4.271.053,31	5.248.963,38	5.230.139,81	5.432.091,71	6.241.011,54
Gado de leite	683.304,49	1.236.725,51	1.432.008,43	1.334.481,29	1.536.161,12	1.698.377,06	1.548.200,11	1.135.515,60
Mandioca	34.426,64	56.729,51	58.800,10	55.710,60	62.547,03	60.359,23	55.748,11	44.759,38
Manejo de solo	580.385,22	580.385,22	580.385,22	580.385,22	1.665.041,82	1.568.060,46	1.568.060,46	1.568.060,46
Milho	181.882,46	294.774,92	308.892,90	467.670,65	508.074,18	801.096,65	1.234.017,62	1.909.262,01
Muar	33.105,38	26.421,97	33.473,23	21.903,56	22.813,59	21.136,29	19.469,79	17.416,77
Outras culturas	104.154,67	93.775,39	63.743,89	78.338,55	127.776,90	107.671,13	124.122,88	181.532,99
Ovino	99.698,72	103.871,17	113.102,35	83.550,08	88.088,32	98.217,99	104.038,37	123.147,79
Pastagem	1.312.869,52	1.312.869,52	1.703.628,23	1.729.201,01	2.268.676,90	2.230.670,41	2.232.937,43	2.315.258,03
Soja	31.901,50	256.603,13	336.890,00	555.689,86	866.564,41	1.164.114,60	1.650.180,19	2.575.956,22
Suínos	194.537,34	210.963,35	205.422,08	186.548,15	183.826,36	202.258,21	179.347,05	188.947,36
Torta de filtro	22.675,45	56.769,49	125.372,31	151.730,87	234.430,65	373.423,74	380.477,67	426.439,72
Trigo	20.487,54	29.067,37	33.286,92	18.568,26	50.125,16	66.398,12	59.266,89	83.171,15
Vinhaça	2.867,12	17.150,80	55.615,68	49.423,01	74.383,60	126.764,41	140.393,66	138.191,94
Total Geral	211.376.962,73	317.213.762,34	389.692.791,41	437.486.011,34	518.167.574,68	534.203.369,38	551.584.098,98	631.176.931,08

5.4 Emissões totais desagregadas por fonte emissora e gás – nível País

Tabela 19 - Emissões de metano (CH₄) do Setor Agropecuário desagregadas entre os subsetores de 1970 a 2023 (t).

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Cultivo de arroz	224.576,77	296.214,04	331.172,68	368.253,55	385.583,30	385.492,46	425.245,80	329.252,22
Diretas	224.576,77	296.214,04	331.172,68	368.253,55	385.583,30	385.492,46	425.245,80	329.252,22
Arroz	224.576,77	296.214,04	331.172,68	368.253,55	385.583,30	385.492,46	425.245,80	329.252,22
Fermentação entérica	5.422.001,77	8.156.222,91	10.088.545,40	11.150.196,97	13.152.516,12	13.155.908,82	13.174.405,88	14.467.459,08
Diretas	5.422.001,77	8.156.222,91	10.088.545,40	11.150.196,97	13.152.516,12	13.155.908,82	13.174.405,88	14.467.459,08
Asinino	14.204,56	10.188,34	10.112,08	9.523,67	9.122,15	7.781,09	6.013,50	3.847,55
Bubalino	5.973,16	27.207,18	76.840,33	60.640,30	64.549,59	65.148,10	75.376,84	92.012,58
Caprino	28.543,69	41.628,60	59.472,94	46.734,06	51.533,61	46.563,92	48.104,39	64.457,47
Equino	87.445,88	90.984,66	110.187,27	104.972,71	104.170,48	99.256,56	99.923,19	104.391,25
Gado de corte	4.295.697,42	6.315.243,57	7.917.610,28	9.155.917,85	10.941.913,22	10.771.054,22	10.947.750,92	12.682.557,31
Gado de leite	854.226,20	1.531.814,94	1.764.259,36	1.656.211,27	1.858.067,75	2.029.910,23	1.855.868,90	1.359.718,40
Muar	16.187,56	12.919,57	16.367,43	10.710,20	11.155,18	10.335,03	9.520,16	8.516,29
Ovino	88.213,04	91.904,81	100.072,53	73.924,79	77.940,20	86.902,91	92.052,76	108.960,70
Suínos	31.510,25	34.331,24	33.623,19	31.562,11	34.063,93	38.956,76	39.795,22	42.997,54
Manejo de dejetos animais	340.311,15	447.130,39	540.027,62	570.395,53	663.729,90	714.677,11	818.448,59	890.401,25
Diretas	340.311,15	447.130,39	540.027,62	570.395,53	663.729,90	714.677,11	818.448,59	890.401,25
Asinino	1.673,00	1.211,47	1.197,98	1.129,11	1.080,05	920,73	709,73	451,44
Aves	1.857,25	8.843,05	10.973,99	16.970,31	20.117,58	25.038,10	26.908,48	31.857,44
Bubalino	186,47	839,68	2.424,25	1.911,59	2.037,59	2.072,59	2.426,30	2.987,87
Caprino	1.225,32	1.802,35	2.569,23	2.034,18	2.239,18	2.016,32	2.089,66	2.818,09
Equino	8.919,91	9.362,78	11.355,15	10.804,88	10.814,55	10.390,26	10.497,40	11.112,95
Gado de corte	94.613,15	137.548,37	175.656,49	207.182,04	249.333,26	243.925,17	248.646,80	295.642,74
Gado de leite	29.647,39	53.423,12	62.622,58	85.032,01	109.191,54	136.724,28	151.924,47	139.161,90
Muar	1.680,13	1.361,44	1.740,14	1.177,81	1.234,32	1.150,99	1.056,51	941,71
Ovino	2.888,98	3.072,91	3.403,07	2.633,56	2.834,01	3.156,76	3.369,75	4.095,88

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Suínos	197.619,55	229.665,22	268.084,74	241.520,05	264.847,82	289.281,91	370.819,50	401.331,22
Queima de resíduos agrícolas	14.816,91	26.712,69	40.430,35	37.471,32	48.661,80	42.937,64	13.756,19	6.543,62
Diretas	14.816,91	26.712,69	40.430,35	37.471,32	48.661,80	42.937,64	13.756,19	6.543,62
Algodão	5.359,30	5.964,52	3.767,13	-	-	-	-	-
Cana-de-açúcar	9.457,61	20.748,17	36.663,22	37.471,32	48.661,80	42.937,64	13.756,19	6.543,62
Total Geral	6.001.706,59	8.926.280,03	11.000.176,04	12.126.317,37	14.250.491,13	14.299.016,03	14.431.856,46	15.693.656,17

Tabela 20 - Emissões de óxido nitroso (N₂O) do Setor Agropecuário desagregadas entre os subsetores de 1970 a 2023 (t).

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Manejo de dejetos animais	4.038,26	7.310,47	7.090,86	8.346,18	9.033,91	10.633,64	12.336,88	14.416,00
Diretas	1.969,82	2.955,01	3.199,89	3.537,98	3.695,38	4.236,00	4.980,08	5.826,36
Aves	80,60	415,19	346,42	493,76	571,05	697,96	747,45	885,15
Gado de corte	9,28	42,16	269,36	697,04	799,14	956,62	1.397,61	2.446,23
Gado de leite	782,92	1.304,44	1.406,70	1.145,43	1.109,97	1.159,52	921,44	396,28
Suínos	1.097,02	1.193,22	1.177,41	1.201,75	1.215,22	1.421,91	1.913,57	2.098,70
Indiretas (deposição atmosférica)	2.068,45	4.355,46	3.890,96	4.808,20	5.338,53	6.397,64	7.356,80	8.589,64
Aves	432,16	2.283,54	1.632,16	2.234,54	2.548,16	3.090,57	3.304,99	3.913,93
Gado de corte	6,56	29,78	190,29	492,43	579,38	693,55	1.013,27	1.773,52
Gado de leite	473,54	793,27	860,06	834,49	920,14	1.083,34	1.096,93	784,80
Suínos	1.156,20	1.248,86	1.208,46	1.246,75	1.290,84	1.530,19	1.941,61	2.117,39
Queima de resíduos agrícolas	848,52	1.711,30	2.848,39	2.811,35	3.650,94	3.221,47	1.032,08	490,95

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Diretas	848,52	1.711,30	2.848,39	2.811,35	3.650,94	3.221,47	1.032,08	490,95
Algodão	138,94	154,64	97,67	-	-	-	-	-
Cana-de-açúcar	709,57	1.556,67	2.750,72	2.811,35	3.650,94	3.221,47	1.032,08	490,95
Solos manejados	154.969,12	227.942,53	270.464,73	318.264,50	399.293,29	439.446,61	476.989,30	578.286,05
Diretas	121.103,51	176.993,82	210.540,17	246.864,95	306.750,82	339.127,80	370.238,79	442.268,32
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	4.742,61	13.097,93	11.730,01	25.490,01	33.840,00	44.030,01	54.610,33	83.269,64
Arroz	853,06	1.674,85	1.271,41	1.907,66	2.260,30	1.925,03	2.107,54	1.762,22
Asinino	487,21	349,46	346,84	326,66	312,89	266,89	206,26	131,97
Aves	366,41	1.868,35	1.649,93	2.382,29	2.767,27	3.390,23	3.632,20	4.301,32
Bubalino	151,49	690,04	1.948,85	1.537,98	1.637,13	1.652,30	1.911,73	2.333,65
Cana-de-açúcar	275,97	605,43	1.069,84	2.211,65	2.861,33	9.201,53	13.041,51	14.459,61
Caprino	1.031,56	1.504,45	2.149,33	1.688,96	1.862,41	1.682,81	1.738,48	2.329,47
Equino	3.050,63	3.174,08	3.843,98	3.662,07	3.634,08	3.462,65	3.485,91	3.641,78
Feijão	674,05	873,48	991,67	1.356,40	1.341,02	1.401,94	1.371,07	1.286,61
Gado de corte	49.040,74	72.042,17	90.039,81	107.162,32	131.715,09	131.175,66	136.071,73	155.983,24
Gado de leite	16.719,05	30.326,44	35.176,08	32.836,22	37.896,07	41.903,39	38.216,80	28.148,92
Mandioca	577,39	951,44	986,17	934,35	1.049,01	1.012,31	934,98	750,68
Manejo de solo	8.309,98	8.309,98	8.309,98	8.679,98	10.979,96	11.079,96	10.539,97	10.747,98
Milho	3.050,44	4.943,81	5.180,59	7.843,53	8.521,16	13.435,58	20.696,31	32.021,17
Muar	555,23	443,14	561,40	367,36	382,62	354,49	326,54	292,11
Outras culturas	1.746,83	1.572,75	1.069,08	1.313,85	2.143,01	1.805,81	2.081,73	3.044,58

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Ovino	1.672,10	1.742,07	1.896,89	1.401,26	1.477,37	1.647,26	1.744,88	2.065,37
Pastagem	22.018,78	22.018,78	28.572,38	29.001,27	38.049,09	37.411,66	37.449,68	38.830,32
Soja	535,04	4.303,62	5.650,15	9.319,75	14.533,58	19.523,93	27.675,98	43.202,62
Suínos	4.496,05	4.912,36	4.949,79	4.154,17	4.066,31	4.282,33	3.795,61	3.912,93
Torta de filtro	380,30	952,11	2.102,68	2.544,75	3.931,75	6.262,87	6.381,18	7.152,03
Trigo	343,61	487,50	558,27	311,42	840,67	1.113,60	993,99	1.394,90
Vinhaça	25,00	149,58	485,03	431,03	648,71	1.105,53	1.224,40	1.205,20
Indiretas (deposição atmosférica)	11.855,82	19.377,15	22.659,48	26.995,65	33.491,15	36.622,23	38.912,58	48.698,96
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	848,17	2.837,51	2.441,93	4.938,81	7.077,83	9.124,82	11.202,76	19.105,93
Asinino	97,44	69,89	69,37	65,33	62,58	53,38	41,25	26,39
Aves	73,28	373,67	329,99	476,46	553,45	678,05	726,44	860,26
Bubalino	15,15	69,00	194,88	153,80	163,71	165,23	191,17	233,36
Caprino	206,31	300,89	429,87	337,79	372,48	336,56	347,70	465,89
Equino	610,13	634,82	768,80	732,41	726,82	692,53	697,18	728,36
Gado de corte	6.539,27	9.607,92	12.020,02	14.326,38	17.606,59	17.543,45	18.220,85	20.934,21
Gado de leite	2.292,01	4.148,35	4.803,38	4.476,25	5.152,74	5.696,86	5.193,12	3.808,86
Muar	111,05	88,63	112,28	73,47	76,52	70,90	65,31	58,42
Ovino	334,42	348,41	379,38	280,25	295,47	329,45	348,98	413,07
Suínos	652,54	707,63	689,05	625,74	616,61	678,43	601,58	633,79
Torta de filtro	76,06	190,42	420,54	508,95	786,35	1.252,57	1.276,24	1.430,41
Indiretas (lixiviação/escorrimento superficial)	22.009,79	31.571,57	37.265,09	44.403,90	59.051,31	63.696,58	67.837,93	87.318,77

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	719,79	2.422,35	2.155,00	5.511,00	7.300,00	8.879,00	9.193,00	20.039,44
Arroz	191,94	376,84	286,07	429,22	508,57	433,13	474,20	396,50
Asinino	109,62	78,63	78,04	73,50	70,40	60,05	46,41	29,69
Aves	82,44	420,38	371,23	536,02	622,64	762,80	817,25	967,80
Bubalino	17,04	77,63	219,25	173,02	184,18	185,88	215,07	262,54
Cana-de-açúcar	0,62	1,36	2,41	4,98	6,44	20,70	29,34	32,53
Caprino	232,10	338,50	483,60	380,02	419,04	378,63	391,16	524,13
Equino	686,39	714,17	864,90	823,96	817,67	779,10	784,33	819,40
Feijão	151,66	196,53	223,13	305,19	301,73	315,44	308,49	289,49
Gado de corte	7.356,68	10.808,92	13.522,52	16.117,18	19.807,41	19.736,38	20.498,46	23.550,99
Gado de leite	2.578,51	4.666,89	5.403,81	5.035,78	5.796,83	6.408,97	5.842,26	4.284,96
Mandioca	129,91	214,07	221,89	210,23	236,03	227,77	210,37	168,90
Manejo de solo	2.190,13	2.190,13	2.190,13	2.190,13	6.283,18	5.917,21	5.917,21	5.917,21
Milho	686,35	1.112,36	1.165,63	1.764,79	1.917,26	3.023,01	4.656,67	7.204,76
Muar	124,93	99,71	126,31	82,65	86,09	79,76	73,47	65,72
Outras culturas	393,04	353,87	240,54	295,62	482,18	406,31	468,39	685,03
Ovino	376,22	391,97	426,80	315,28	332,41	370,63	392,60	464,71
Pastagem	4.954,22	4.954,22	6.428,79	6.525,29	8.561,04	8.417,62	8.426,18	8.736,82
Soja	120,38	968,31	1.271,28	2.096,94	3.270,05	4.392,89	6.227,10	9.720,59
Suínos	734,10	796,09	775,18	703,96	693,68	763,24	676,78	713,01
Torta de filtro	85,57	214,22	473,10	572,57	884,64	1.409,15	1.435,76	1.609,21

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2023
Trigo	77,31	109,69	125,61	70,07	189,15	250,56	223,65	313,85
Vinhaça	10,82	64,72	209,87	186,50	280,69	478,36	529,79	521,48
Total Geral	159.855,90	236.964,30	280.403,98	329.422,03	411.978,14	453.301,73	490.358,26	593.193,00

5.5 Emissões por Estados do Brasil

Tabela 21 - Emissões de GEE (CO₂e) do Setor Agropecuário distribuídas entre os Estados do Brasil de 1970 a 2023 (t).

AGROPECUÁRIA	1970	1980	1990	2000	2010	2015	2020	2023
AC	260.632,28	777.986,21	1.045.945,35	2.356.008,38	5.332.984,04	5.906.077,76	7.579.285,28	9.689.521,65
AL	1.405.586,30	2.431.172,84	2.799.196,84	2.501.759,38	3.284.906,67	3.216.813,10	3.640.323,74	3.878.526,19
AM	767.401,01	1.015.956,75	1.681.670,00	2.193.941,77	3.147.045,89	2.972.300,91	3.325.313,68	5.269.602,52
AP	177.495,37	206.169,26	346.105,99	529.743,40	715.313,91	825.365,74	791.710,60	834.626,19
BA	15.166.245,38	23.342.089,56	29.675.260,00	25.275.871,33	27.581.159,11	26.594.480,88	25.441.673,87	32.332.008,60
CE	4.828.960,77	6.587.038,78	7.754.973,18	6.361.957,39	7.382.084,76	7.185.681,57	7.437.868,00	8.192.422,41
DF	83.515,02	179.800,64	298.703,17	359.749,45	382.986,63	435.134,30	446.361,31	422.649,58
ES	3.685.712,81	4.894.756,41	4.553.749,50	4.802.307,05	5.504.808,78	5.540.788,66	5.522.970,95	5.512.552,62
GO	19.475.869,62	32.598.173,41	42.115.305,22	44.036.235,37	51.196.113,44	52.859.385,61	58.540.708,71	61.784.658,36
MA	5.161.902,19	8.454.399,57	10.997.120,81	10.464.017,05	15.962.562,09	17.323.800,30	19.293.546,53	22.584.764,64
MG	37.395.261,06	49.041.961,93	52.230.869,43	51.556.261,33	59.102.887,07	60.973.134,30	58.302.746,21	59.789.311,84
MS	889.124,43	27.977.317,63	43.912.978,46	49.328.063,65	50.454.960,47	48.916.662,13	45.972.317,19	46.410.795,77
MT	21.778.417,84	12.581.489,80	21.846.242,54	44.615.377,73	67.553.692,46	71.680.030,79	84.357.956,44	92.446.356,33
PA	3.207.738,36	6.854.328,51	16.899.525,86	24.443.133,50	38.261.975,76	42.943.921,04	48.018.046,33	54.147.217,77
PB	2.305.625,44	3.514.603,58	3.772.970,10	2.554.233,94	3.215.232,85	3.018.980,95	3.552.614,92	3.808.650,64
PE	3.469.572,70	5.441.107,94	5.982.607,47	4.642.680,17	6.878.284,60	6.168.036,03	6.634.637,81	8.000.587,97
PI	3.914.064,25	5.050.850,95	6.378.570,84	5.497.094,44	5.202.107,01	5.052.505,77	5.429.974,39	5.896.833,18
PR	14.173.077,58	22.944.835,56	24.341.877,50	27.613.644,37	29.821.489,05	31.974.544,88	30.714.604,08	32.583.097,47
RJ	3.502.531,68	4.938.737,21	5.130.328,78	4.976.536,76	5.247.939,02	5.442.636,68	5.857.550,24	6.176.899,73
RN	1.529.823,77	2.295.223,45	2.552.202,29	2.189.587,28	2.853.802,45	2.647.093,11	2.811.109,45	3.320.666,12
RO	200.620,67	955.686,06	4.616.266,78	12.671.414,96	24.751.769,31	27.140.571,26	29.867.786,61	36.565.000,75
RR	561.985,08	783.235,04	30.251,69	1.174.359,69	1.399.682,50	1.751.022,34	2.078.106,95	2.711.357,41
RS	35.960.200,23	43.402.204,96	43.978.122,08	44.255.362,53	49.611.879,93	51.118.498,73	44.898.328,38	46.370.196,39
SC	5.925.390,48	8.360.520,32	9.185.816,82	9.987.043,41	13.387.816,87	14.788.654,32	15.532.014,59	16.240.328,84
SE	1.568.103,55	2.530.253,49	2.635.375,66	2.194.064,96	2.926.429,81	3.025.033,69	2.627.667,61	3.327.655,50
SP	23.766.779,45	32.667.901,23	34.526.136,79	36.746.415,01	35.189.425,47	32.522.435,83	35.230.113,54	35.264.763,91
TO	215.325,44	7.385.961,27	10.404.618,27	14.159.147,00	17.854.029,41	19.560.508,28	22.267.361,28	27.615.878,70
Total Geral	211.376.962,73	317.213.762,34	389.692.791,41	437.486.011,34	534.203.369,38	551.584.098,98	576.172.698,71	631.176.931,08

6. Comparação dos resultados SEEG e 4º Inventário Nacional

A nova abordagem dos cálculos e estimativas para o setor tiveram mudanças se comparadas com as realizadas no 3º Inventário Nacional, de modo que novas fontes de emissão passaram a serem contabilizadas pelo setor, como o caso do uso de calcário (antes calculado pelo setor de MUT), aplicação de ureia, resíduos vegetais de pastagens, torta de filtro (resíduos da produção de etanol e açúcar) e a mineralização de N associado a perda de C no solo.

Outra mudança foi o aprimoramento na caracterização dos dados sobre os rebanhos de animais e demais fontes de emissões vegetais, atribuindo ao setor melhor representatividade e detalhamento das emissões, possibilitando obter com maior precisão o real impacto do setor na participação das emissões nacionais. A Tabela 21 abaixo mostra que as diferenças entre as estimativas de emissão de GEE pelo SEEG e pelo 4º Inventário Nacional.

Tabela 22 - Comparação das emissões de GEE pela agropecuária (GWP-AR5) estimadas pelo SEEG e pelo 4º Inventário Nacional para o ano de 2016 (MtCO₂e)

Subsetor	SEEG	4º Inventário Nacional (MCTI, 2020) ¹	Diferença (%)
Fermentação Entérica	374,26	362,82	3,2%
Manejo de Dejetos Animais	26,44	28,01	-5,6%
Cultivo de Arroz	10,93	11,09	-1,4%
Queima de Resíduos Agrícolas	0,57	0,47	21,2%
Solos Manejados	150,64	152,59	-1,28%

¹ano mais recente considerado nas estimativas do 4º Inventário Nacional (MCTI, 2020).

Diferenças ocorrem devido atualizações em dados de atividade utilizadas nas equações de cálculo das emissões. Esses resultados demonstram a elevada reprodutibilidade da metodologia do SEEG em estimar as emissões de GEE pelo setor agropecuário, constantemente em um processo de melhoria contínua. Assim, como a mesma metodologia foi utilizada para as estimativas no período de 1970 a 2023, é de se esperar elevada robustez nos resultados das emissões de GEE pela agropecuária para esse período.

7. Referências Bibliográficas

ALVARENGA, A.P. e CARMO, C. A. F. S. **Sequestro de Carbono: Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. 352p. Viçosa, 2006.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, p. 153-167, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2005 / ABRAF**. -- Brasília, 2006. 80p. Disponível em <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2010-BR.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009/ ABRAF**. – Brasília, 2010. 140p. Disponível em <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2010-BR.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA (ABRACAL). **Consumo aparente por estado**, 2023a. Disponível em: < <http://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2021/06/CONSUMO-APARENTE-BR-1992-A-2020.pdf> >

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA (ABRACAL). **Produção por estado**, 2023b. Disponível em: < <http://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2021/04/PRODUCAO-BR-1987-A-2020.pdf> >

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**, São Paulo, 2023.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC – Volume III**. 336p. Brasília, 2020a. Disponível em: < https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/3tcn_volume_3.pdf >

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC**. 622p. Brasília, 2020a. Disponível em: < https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/4comunicacao/4_com_nac_brasil_web.pdf >

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume III: Estratégias Setoriais e Temáticas. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. 297p. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Fermentação Entérica. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 143p. Brasília,

2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Manejo de Dejetos. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 142p. Brasília, 2020c. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Cultivo de Arroz. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 102p. Brasília, 2020d. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetores Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 148p. Brasília, 2020e. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Floresta. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 315p. Brasília, 2020f. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

BRASIL. Notícias. Agricultura e Pecuária. **Plano ABC+ tem metas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na agropecuária**. Brasília, 2021a. Disponível: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/10/plano-abc-tem-metas-para-reduzir-a-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria>>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão e carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo**. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Inovação. Brasília, 2021b. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/abc-portugues.pdf>>

BRASIL, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Projeto BRA/16/G31 Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 111p. Brasília, 2021c. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>

BRASIL, Ministério da Agricultura. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas**, 2023d. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>

BRASIL, MCTI. 2016. SIRENE. Sistema de Registro Nacional de Emissões. <http://sirene.mcti.gov.br/>

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Balanço Energético Nacional (BEN). Séries Completas, 2023. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Balanço Nacional de Cana-de-Açúcar e Agroenergia. Secretaria de Produção e Agroenergia. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-balanco-nacional-da-cana-de-acucar-e-agroenergia-2007/balanco-nacional-da-cana-de-acucar-e-agroenergia-2007.pdf>>

BRASIL. **Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada (iNDC) para alcançar o objetivo da Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC)**, 2016. Disponível em: <<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>>

BRASIL, 2015b - **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) Brasileira apresentada ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)** – Fundamentos para Fundamentos para a Elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/quem-%C3%A9-quem/item/10710-fundamentos-para-a-elabora%C3%A7%C3%A3o-da-pretendida-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada-indc-do-brasil-no-contexto-do-acordo-de-paris>

BUSTAMENTE, M.M.C., et. al. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. **Biogeochemistry** 79: 209-237. 2006

CANTO, A. C. B. do, FONTANA, A., CESÁRIO, F. V. FIGUEIREDO, L. G. E. de, CHEAUZU, H. Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Organossolos e outros solos com horizontes orgânicos no Brasil > abrangência e área manejada entre os anos de 1994 a 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1122074&biblioteca=vazio&busca=1122074&qFacets=1122074&sort=&paginaAtual=1>:>

CARVALHO, J.L.N., et. al. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research** 110 (2010) 175-186. 2010

CASTRO, C. N. A agropecuária na região centro-oeste: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2014a.

_____. A agropecuária na região sudeste: limitações e desafios futuros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2014b.

_____. A agropecuária na região sul: limitações e desafios futuros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2014c.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil, 2023. Disponível em <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>> Acesso em 11 out.2024

CERRI, Carlos Eduardo P. *et al.* Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 64, n. 1, p. 83-99, fev. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162007000100013>.

COSTA JUNIOR, C. et. al. Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. **Soil & Tillage Research** 134 (2013) 207-212. 2013

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **VII Plano Diretor da Embrapa: 2020-2030**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 31p, Brasília, 2020. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira> > Acesso em: 20 out.2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). EMBRAPA 2011. **Marco Referencial; Integração lavoura-pecuária-floresta** Luis Carlos Balbino / Alexandre de Oliveira Barcellos, Luís Fernando Stone, ed. Técnicos. – Brasília, DF: EMBRAPA, 2011. 130p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Embrapa Arroz e Feijão**. Transferência de tecnologia – Informações técnicas –Socioeconômica: Arroz, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao>>

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO (FBPDP). **Área do Sistema Plantio Direto**, 2018. Disponível em:< <https://febrapdp.org.br/area-de-pd> >

FNP. ANUALPEC'S 2022. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo, 2023. Acesso em: < <http://anualpec.com.br/> >

OBSERVATÓRIO ABC. **Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: A evolução de um novo paradigma**. Relatório Completo. Fundação Getúlio Vargas e Centro de Agronegócio da Escola de Economia de São Paulo. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries Históricas e Estatísticas**. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>

_____. Tabela 925 – Efetivo de bovinos nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças em 31/12, por composição do efetivo, condição do produtor em relação

às terras, finalidade da criação, grupos de atividade econômica, grupos de área de pastagem e grupos de área total. **Censo Agropecuário 2017**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2017a. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/925> >

_____. Tabela 6957 – Produção, Valor de produção, Venda, Valor da venda e Área colhida da lavoura temporária dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, produtos da lavoura temporária, condição do produtor em relação às terras e grupos de atividade econômica. **Censo Agropecuário 2017**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2017b. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6957> >

_____. Tabela 5457 – Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor de produção das lavouras temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2023a. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> >

_____. Tabela 74 – Produção de origem animal, por tipo de produto.. **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2023b. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/74> >

_____. Tabela 3939 – Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2023c. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939> >

_____. Tabela 94 – Vacas ordenhadas. **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2023d. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94> >

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). CANASAT, **Monitoramento da Cana de Açúcar**, Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/colheita.html>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 1995: The Science of Climate Change**. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., L. G. Meira, A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp, 1996.

_____. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, **Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors, Japan: IGES; 2006a. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: junho de 2014.

_____. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, 996 pp, 2006b.

_____. **Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2016. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

_____. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers**. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I. World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP). 41p. Cambridge University Press, 2021a. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf > Acesso em 10.out.2024

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Anuário Brasileiro do Arroz**. Santa Cruz do Sul/RS, 2021, 88 p.

LI, C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.58, p.259–76, 2000.

LI, C., SALAS, W., ZHANG, R., KRAUTER, C., ROTZ, A., MITLOEHNER, F. Manure-DNDC: A biogeochemical process model for quantifying greenhouse gas and ammonia emissions from livestock manure systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.93, p.163–200, 2012.

LOUREIRO, F. E. L. (Ed.), MELAMED, R.G. (Ed.), e FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2009. 645p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/497>. Acesso em: julho de 2014.

MAPBIOMAS. MAPBIOMAS, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>

Projeto MapBiomass - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9, acessado em outubro de 2024 através do link: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Fact_Colecao-9_21.08-OK.pdf.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **IPCC AR6, WG1: Resumo Comentado**. 2021

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). 2016. **Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris**. Disponível em: <http://seeg.eco.br/analise-de-emissoes-de-gee-no-brasil-1970-2014/>

REDE ILPF. **ILPF em números**, 2020. Disponível em: < <https://www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/ilpf-em-numeros> >

ROCHA, G.C. **Aplicação da estimativa espaço-temporal da tolerância à perda de solo no planejamento do uso da terra**, Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-26072013-091837/pt-br.php>. Acesso em: setembro de 2013.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Etanol Verde** – Safra 2013/2014. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2014/05/Resultados-safra-2013_2014-Etanol-Verde.pdf. Acesso em: novembro de 2014.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Observatório da Cana**. Séries Históricas Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/index.php>>. Acesso em: 2023.

UNITED NATIONS (UN). Climate Change. UN Climate Change Conference UK 2021. **COP 26: The Glasgow Climate Pact**. UK, 2021a.

UNITED NATIONS (UN). Climate Change. UN Climate Change Conference EG 2022. **COP 27: SHARM EL- SHEIKH**. EG, 2022a.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Crops and livestock products. **Production**. Itália, 2021b. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data>>

Anexo: SEEG Municípios

Considerações gerais sobre as estimativas de emissões de GEE para os Municípios do Brasil

O presente anexo apresenta um breve resumo das premissas adotadas no cálculo das estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Setor Agropecuário do Brasil em nível municipal considerando todos os estados do país no período de 2000 a 2023.

Essas estimativas seguem os mesmos princípios utilizados para as estimativas do SEEG em nível nacional e estadual, as quais, por sua vez são baseadas na metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação para o 3º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2015) e para o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2019), desenvolvidas a partir das diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1996; 2006).

De acordo com essa metodologia, a estimativa das emissões GEE da agropecuária abrange as atividades de produção agrícolas perenes e não perenes (e cana-de-açúcar) e a criação e a produção animal incluindo bovinos, galináceos, caprinos, bubalinos, muares, entre outros. Também inclui toda atividade relacionada à fertilização nitrogenada do solo e solos orgânicos, bem como a calagem, aplicação de ureia e mineralização de carbono no solo.

Apesar de estarem relacionadas as atividades agropecuárias, não estão incluídas nestes cálculos as emissões decorrentes de desmatamento, conversões de uso do solo e energia, as quais são contabilizados nos respectivos setores de *Mudanças de Uso do Solo, Resíduos e Energia*.

Para o período que abrange a presente metodologia, o SEEG utilizou predominantemente como base de obtenção dos dados de atividade (dados censitários de população animal, área e produção agrícolas) os levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em nível municipal, os quais estão disponíveis no Sistema de Recuperação de Dados do IBGE (Sidra).

Apesar de o IBGE ser uma das principais fontes de dados de nível de atividade para o Brasil abrangendo longos períodos (geralmente décadas), esses dados foram pontualmente complementados, quando necessário, com os existentes em outras fontes disponíveis na literatura, as quais são citadas ao longo da metodologia do Setor Agropecuário. Todas as bases de dados e cálculos foram efetuadas por meio do software Microsoft Excel e Banco de Dados Gerenciados PostgreSQL.

No entanto, devido à falta de dados de atividade mais concretos em nível municipal, algumas premissas tiveram que ser efetuadas para alocar algumas fontes de emissão de GEE

estaduais nos municípios do estado correspondente. O SEEG vem trabalhando para aperfeiçoar a metodologia e premissas adotadas para obtenção dos dados.

DADOS ALOCADOS MUNICIPALMENTE

1) Número de bovinos de corte

O IBGE não aponta o número de bovinos de corte por município, mas sim o número de bovinos totais e o número de vacas ordenhadas. Assim, para a obtenção do número de bovinos de corte é necessário subtrair a quantidade de vacas dos bovinos totais. Entretanto, para alguns municípios o IBGE aponta que há mais vacas que bovinos totais, o que resulta em valores de bovinos de corte negativos para alguns estados. De acordo com o IBGE as variáveis “efetivo de bovinos” e “número de vacas ordenhadas” são diferentes. Os dados da variável efetivos de bovinos é o efetivo existente em 31/12 do ano de referência da pesquisa e os dados da variável vacas ordenhadas são as vacas ordenhadas durante todo o ano de referência pesquisada. No exemplo de 1990, o efetivo de bovinos em 31/12/1990 pode ser menor que o número de vacas ordenhadas durante 1990.”

Dessa forma, o SEEG normalizou os dados de bovinos de corte com base nos valores de bovinos totais para evitar a ocorrência de valores negativos. Para isso, multiplicou-se a proporção bovinos de corte/ bovinos totais de estado pelo número de bovinos totais de cada município do respectivo estado.

2) Número de bovinos confinados

A ANUALPEC não disponibiliza os dados por município. Desse modo, para a obtenção do número de bovinos confinados por município para o cálculo das emissões, foi necessário multiplicar o número de bovinos de corte obtidos para cada município pela proporção de bovinos confinados em relação aos bovinos confinados do estado correspondente.

3) Área de arroz irrigado

A área de arroz irrigado de cada município utilizada para o cálculo das emissões de CH₄ decorrente do Cultivo de Arroz foi estimada multiplicando-se a proporção da área de arroz sequeiro/irrigado do estado e a área de arroz de cada município do estado.

4) Produção de etanol

O BEN e a ÚNICA não disponibilizam as informações em uma base municipal. Portanto, para a obtenção da produção de etanol para o cálculo das emissões de N₂O da aplicação de vinhaça como adubo foi necessário alocar a produção de etanol do estado correspondente pela multiplicação da produção de cana-de-açúcar municipal pela produção de cana-de-açúcar do estado correspondente.

5) Produção de açúcar

A produção de açúcar não é disponibilizada em nível municipal. Portanto, para a obtenção da produção de etanol para o cálculo das emissões de N_2O da aplicação de torta de filtro como adubo foi necessário alocar a produção de açúcar do estado correspondente pela multiplicação da produção da cana-de-açúcar do município pela produção de cana-de-açúcar do estado correspondente.

6) Fertilizante Sintético

A ANDA disponibiliza as quantidades de fertilizantes consumidos em uma base estadual. Para obtenção da quantidade de fertilizante sintético por município foi necessário alocar da quantidade de fertilizante sintético utilizado pelo estado correspondente através da multiplicação com a proporção da quantidade produzida das culturas de cana-de-açúcar, milho e algodão por município pela produção das culturas de cana-de-açúcar, milho e algodão do estado correspondente. A proporção de ureia e outros fertilizantes aplicadas nos cálculos dos municípios foi a mesma do estado correspondente.

7) Área plantada

A área plantada dos municípios para o período de 1970 a 1987 para o cálculo da emissão de CO₂ pelo uso de calcário não está disponível, sendo obtida através da multiplicação da área plantada do estado correspondente no respectivo ano pela proporção da área plantada do município em 1988 pela área do estado em 1988.

8) Calcário

A quantidade de calcário utilizado por município para o cálculo da emissão de CO₂ foi obtida pela alocação da quantidade de calcário do estado correspondente pela multiplicação da proporção da área plantada do município pela área plantada do estado correspondente.

DADOS NÃO ALOCADOS MUNICIPALMENTE

Dados de Atividade – Emissões e Remoções NCI

As áreas de pastagens degradadas e em boas condições, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, florestas plantadas e lavouras SPD, PD e SPC para o cálculo das emissões e remoções não foram contabilizadas no inventário nacional e não foram organizadas a partir de em uma base municipal. Portanto, os cálculos foram realizados somente para os estados.

RESULTADOS SEEG MUNICÍPIOS

Os resultados das emissões de GEE por município, fonte emissora e fatores de conversão (GWP, GTP, dos relatórios AR2, AR4, AR5 e AR6) estão disponíveis para consulta na **Plataforma SEEG: plataforma.seeg.eco.br, ao selecionar *Município*.**

QUALIDADE DAS ESTIMATIVAS DE GEE PARA OS MUNICÍPIOS DO BRASIL

Na Figura 4 abaixo está apresentada a qualidade dos dados utilizados para os cálculos das emissões de GEE do setor agropecuário em nível nacional. Nota-se que a grande maioria dos dados utilizados apresentaram boa qualidade (1) para padrão de inventário. Os comentários relativos aos motivos das três classificações de número (2 e 3) apresentadas na tabela podem ser encontradas na planilha de qualificação dos dados disponível nas notas metodológicas do site.

Figura 4 – Qualidade da estimativa das emissões municipais

Setor / Sub-Sector / Categorias	Ocorrência de alocação	Critério de Alocação	Nível de Atividade		Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral da Alocação	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
			Existência do Dado	Disponibilidade do Dado						
Agropecuária							27%	631.176.931	94%	98%
Cultivo do Arroz										
Arroz	1	1	2	2	2	2	0,39%	9.219.062	0,00%	1,46%
Fermentação Entérica										
Asinino	1	1	2	1	2	1	0,00%	107.731	0,02%	0,02%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,11%	2.576.352	0,41%	0,41%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,08%	1.804.809	0,29%	0,29%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,12%	2.922.955	0,46%	0,46%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	15,10%	355.111.605	56,26%	56,26%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	1,62%	38.072.115	6,03%	6,03%
Muar	1	1	2	1	2	1	0,01%	238.456	0,04%	0,04%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,13%	3.050.899	0,48%	0,48%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,05%	1.203.931	0,19%	0,19%
Manejo de Dejetos Animais										
Asinino	1	1	2	1	2	1	0,00%	12.640	0,00%	0,00%
Aves	1	1	1	1	1	1	0,09%	2.163.765	0,34%	0,34%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,00%	83.660	0,01%	0,01%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,00%	78.906	0,01%	0,01%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,01%	311.163	0,05%	0,05%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	0,40%	9.396.229	1,49%	1,49%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	0,18%	4.209.519	0,67%	0,67%
Muar	1	1	2	1	2	1	0,00%	26.368	0,00%	0,00%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,00%	114.685	0,02%	0,02%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,53%	12.354.539	1,96%	1,96%
Queima de Resíduos										
Algodão	1	1	1	1	1	1	0,00%	-	0,00%	0,00%
Cana-de-açúcar	1	1	1	1	1	1	0,01%	313.322	0,05%	0,05%
Solos Manejados										
Animal										
Asinino	1	1	2	1	2	1	0,00%	49.835	0,01%	0,01%
Aves	1	1	1	1	1	1	0,07%	1.624.285	0,26%	0,26%
Bubalino	1	1	1	1	1	1	0,03%	749.831	0,12%	0,12%
Caprino	1	1	1	1	1	1	0,04%	879.668	0,14%	0,14%
Equino	1	1	1	1	1	1	0,06%	1.375.228	0,22%	0,22%
Gado de Corte	1	1	1	1	1	1	2,26%	53.124.136	8,42%	8,42%
Gado de Leite	1	1	1	1	1	1	0,41%	9.604.328	1,52%	1,52%
Muar	1	1	2	1	2	1	0,00%	110.306	0,02%	0,02%
Ovino	1	1	1	1	1	1	0,03%	779.936	0,12%	0,12%
Suínos	1	1	1	1	1	1	0,06%	1.393.828	0,22%	0,22%
Insumo										
Aplicação de Uréia	1	2	2	3	2	1	0,22%	5.172.400	0,82%	0,82%
Aplicação de ureia e demais fertilizantes sintéticos nitrogenados	1	2	2	3	2	1	1,38%	32.439.978	5,14%	5,14%
Calagem	1	2	2	3	2	1	1,25%	29.386.014	4,66%	4,66%
Solo										
Manejo do solo	1	2	1	2	3	2	0,19%	4.416.275	0,00%	0,70%
Subproduto										
Torta de Filtro	1	2	2	3	2	1	0,11%	2.700.785	0,43%	0,43%
Vinhaça	1	2	2	3	2	1	0,02%	457.569	0,07%	0,07%
Vegetal										
Arroz	1	1	1	1	1	1	0,02%	572.060	0,09%	0,09%
Cana-de-açúcar	1	1	1	1	1	1	0,16%	3.840.417	0,61%	0,61%
Feijão	1	1	1	1	1	1	0,02%	417.667	0,07%	0,07%
Mandioca	1	1	1	2	1	1	0,01%	243.690	0,04%	0,04%
Milho	3	2	2	2	2	2	0,44%	10.394.871	0,00%	1,65%
Outras culturas	1	1	1	1	1	1	0,04%	988.346	0,16%	0,16%
Pastagem	1	1	1	1	1	1	0,54%	12.605.294	2,00%	2,00%
Soja	1	1	1	1	1	1	0,60%	14.024.651	2,22%	2,22%
Trigo	1	1	1	1	1	1	0,02%	452.821	0,07%	0,07%

