



Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1990-2024): **Resíduos**

SEEG Setor Resíduos 1990-2024

Versão 13 – dezembro de 2025

Coordenação Técnica
Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI)

Equipe Responsável
Iris Coluna
Joice Oliveira

Sumário

1. Introdução	4
Descrição do Setor	5
Escopo de emissões do Setor de Resíduos	5
2. Metodologia de Cálculo	10
Disposição de resíduos sólidos	10
Tratamento de Efluentes Industriais	22
Incineração de resíduos sólidos e queima a céu aberto	24
Tratamento biológico	28
3. Qualidade de dados	30
4. Comparaçao dos resultados do SEEG	38
5. Bibliografia	38

1. Introdução

O saneamento ambiental é o conjunto de medidas que tem como objetivo preservar ou modificar as condições do meio ambiente, com o intuito de melhorar a qualidade de vida da população, seja com a prevenção de doenças ou a promoção de melhorias em saúde. Nesse sentido, o saneamento é caracterizado pelos componentes de abastecimento de água, manejo de resíduos sólidos, esgotamento sanitário e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Conceitualmente, esses componentes podem ser considerados adequados ou inadequados, considerando indicadores e variáveis que caracterizam o acesso domiciliar aos serviços de saneamento. A caracterização do atendimento e déficit de esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos, componentes diretamente responsáveis pela significativa emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), observados no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização do atendimento e do déficit de acesso ao esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos

Componentes	Atendimento Adequado	Déficit	
		Atendimento Precário	Sem Atendimento
Esgotamento Sanitário	Coleta de efluentes, seguida de tratamento; Uso de fosse séptica (tratamento in situ);	Coleta de efluentes, não seguida de tratamento; Uso de fossa rudimentar;	
Manejo de Resíduos Sólidos	Coleta direta, na área urbana, com frequência diária ou em dias alternados e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos; Coleta direta ou indireta, na área rural, e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos.	Dentre o conjunto com coleta, a parcela: Na área urbana com coleta indireta ou direta, cuja frequência não seja pelo menos em dias alternados; E, ou, cuja destinação final dos resíduos seja ambientalmente adequada;	Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas inadequadas.

Descrição do Setor

O setor inclui a estimativa de emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) provenientes do tratamento intermediário e disposição final de resíduos sólidos domésticos, lodos oriundos de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) e resíduos de serviços de saúde (RSS); incineração de RSS e queima a céu aberto de resíduos sólidos; e, tratamento e afastamento de efluentes líquidos domésticos e industriais. Os resíduos de atividades agropecuárias, como por exemplo, a disposição de dejetos animais e a incineração de restos de culturas agrícolas não estão inclusos no setor de resíduos, mas são contabilizados nas estimativas de emissões de GEE do setor agropecuário.

Escopo de emissões do Setor de Resíduos

Os processos geradores de emissões de gases do efeito estufa do setor de Resíduos são estruturados e sucintamente descritos de acordo com a classificação do IPCC e do 4º Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE, conforme o seguinte detalhamento.

Disposição final

A disposição final de resíduos sólidos produz quantidades significativas de metano (CH₄), por meio da decomposição da fração orgânica em condições anaeróbicas. O potencial de geração de CH₄ dos resíduos sólidos é estimado a partir da análise da composição gravimétrica, do tipo de gestão adotada nos locais de disposição final – lixões, aterros controlados ou aterros sanitários – índices de precipitação, temperatura e da quantidade de material encaminhada para cada tipo de destino.

Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos caracterizam-se como resíduos domésticos gerados em áreas urbanas ou rurais, incluindo materiais decorrentes de atividades de varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros serviços de limpeza (Brasil, 2010a). Considerada a questão mais problemática do setor de resíduos: estima-se que, globalmente, é gerado 2,01 bilhão de toneladas (Gt) de RSU anualmente (IPEA, 2020), com previsão de aumento para aproximadamente 2,2 Gt para o ano de 2025 (IPCC, 2014). De acordo com o quinto relatório de avaliação (AR5)¹ do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), do total atual de resíduos gerados no ambiente urbano em todo planeta, cerca de 300 milhões de toneladas (Mt) são reciclados, 200 Mt são

¹ As avaliações do IPCC fornecem uma base científica para que os governos em todos os níveis desenvolvam políticas associadas ao enfrentamento às mudanças climáticas. Os relatórios são escritos por centenas de cientistas líderes que oferecem seu tempo e experiência como coordenadores e autores dos estudos.

Disponível em <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter10.pdf> Acesso em 12 de junho de 2017

tratados com recuperação energética, 200 Mt dispostos em aterros sanitários e 800 Mt são destinados a aterros controlados ou vazadouros a céu aberto.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos sólidos podem ter disposição final adequada em aterros sanitários ou podem ser dispostos inadequadamente em aterros controlados e lixões. Em ambas as formas de disposição, a fração orgânica passa por um processo de degradação anaeróbica, devido à atuação de bactérias metanogênicas, resultando na formação de gás metano.

Resíduos de serviços de saúde (RSS)

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), os RSS são materiais provenientes de atividades exercidas nos serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal (Brasil, 2020). Em relação aos tipos de tratamento, esses resíduos podem ser destinados a: Micro-ondas, Autoclave, Incineração, outros e posteriormente encaminhados para a disposição final.

Resíduos de serviços públicos de saneamento básico (RSB) – Lodo de ETE

Os sistemas de tratamento de efluentes líquidos envolvem processos físicos, químicos e biológicos. De acordo com o Planares, os resíduos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) são aqueles retirados das fases físicas de gradeamento e desarenamento, e também o lodo resultante do tratamento químico, sendo uma parcela dessa massa de lodo depositada em locais de disposição final de resíduos sólidos.

Incineração ou queima a céu aberto

Incineração

A incineração é um processo termoquímico de tratamento de resíduos, consiste na combustão de resíduos sólidos e líquidos em plantas controladas, ocasionando na combustão completa do resíduo e não emissão de metano (CH_4) na atmosfera, apresentando consequentemente a redução do volume e das características de periculosidade dos resíduos.

Também descrito na PNRS como destinação final, a incineração é uma rota tecnológica alternativa para o tratamento intermediário de resíduos sólidos, no entanto no Brasil é um processo utilizado principalmente para resíduos de serviços de saúde e resíduos industriais. Neste tipo de tratamento, a combustão da fração de origem fóssil dos resíduos é a responsável pelas emissões de CO_2 . A fração de matéria orgânica do resíduo também pode contribuir com a emissão de CO_2 quando processada termicamente, porém, por ser considerada biogênica, ela não é adicionada às emissões de GEE. Além de dióxido de carbono, também ocorre à geração de N_2O . A emissão de GEE varia em função do tipo de incinerador, do tipo de resíduo, da temperatura e do tempo de permanência no incinerador.

O SEEG estima as emissões de CO₂ e N₂O decorrentes do processo de incineração de resíduos sólidos. Para tanto, são utilizados dados como quantidade e composição do resíduo incinerado, sendo que a escassez desses dados eleva a incerteza da estimativa das emissões. Nota-se a necessidade de criação de uma base de dados nacional sobre o tema, a fim de ter uma visão mais acurada do subsetor de Incineração.

Queima a céu aberto

A estimativa das emissões de GEE por meio da queima a céu aberto parte da premissa que uma parcela do montante total gerado de resíduo doméstico é destinada a queima não controlada (queima a céu aberto). Essa prática é adotada por uma parcela da população que não tem acesso ao sistema de coleta de resíduos sólidos municipais, ocorrendo de forma mais frequente em áreas rurais do que em áreas urbanas. No Brasil, ainda, observa-se um maior número de municípios na região norte e nordeste que aplicam esse tipo de tratamento.

O SEEG estima as emissões de CH₄, CO₂ e N₂O decorrentes do processo de combustão de materiais combustíveis ao ar livre ou em lixões abertos, onde as emissões são lançadas diretamente na atmosfera, sem passar por uma chaminé de filtragem. A queima aberta também pode incluir dispositivos de incineração sem controle no processo e que não fornecem tempo de residência suficiente para combustão completa (IPCC, 2006).

Tratamento biológico

O tratamento biológico consiste na degradação do carbono orgânico por meio de processos como compostagem e digestão anaeróbica em instalações de biogás. A compostagem é um processo aeróbio, no qual uma grande fração do carbono orgânico degradável (DOC) nos resíduos é convertida em CO₂, CH₄ (nas seções anaeróbicas do composto) e uma pequena fração de N₂O. A digestão anaeróbica de resíduos orgânicos acelera a decomposição natural de matéria orgânica sem oxigênio, propiciando a geração de CH₄ enquanto as emissões de N₂O desse tipo de processo não são consideradas relevantes.

Existe uma série de vantagens na aplicação do tratamento biológico, nesse sentido a nova edição do inventário também passou a contemplar as emissões desse subsetor. No Brasil, apesar de cerca de 50% dos resíduos terem origem orgânica, apenas 1% dos resíduos sólidos é tratado biologicamente, especificamente por meio de compostagem, sendo que as plantas de digestão anaeróbicas ainda não estão consolidadas a nível nacional (MCTI, 2019).

Efluentes líquidos

O esgotamento sanitário se constitui pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada de efluentes domésticos, desde as ligações prediais até seu lançamento final no meio ambiente (MADEIRA, 2010).

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

O material originado, por sua vez, pode ser tratado *in situ* (não coletado), coletado e tratado em estações de tratamento ou descartado diretamente em corpos hídricos (IPCC, 2006). No geral, países desenvolvidos apresentam sistemas centrais com tratamentos aeróbios/anaeróbios, enquanto países em desenvolvimento caracteristicamente possuem baixas taxas de coleta e tratamento de efluentes líquidos.

Efluentes líquidos domésticos

O efluente doméstico tem alto teor de carga orgânica, que quando decomposta, pode gerar significativa emissão de CH₄. Estas emissões diferem conforme o tipo de tratamento aplicado, atingindo maiores quantidades com tratamentos em meios anaeróbios. O tratamento de efluente doméstico também emite óxido nitroso (N₂O), decorrente da degradação de componentes de nitrogênio (como, por exemplo, uréia, nitratos e proteínas).

Efluentes líquidos industriais

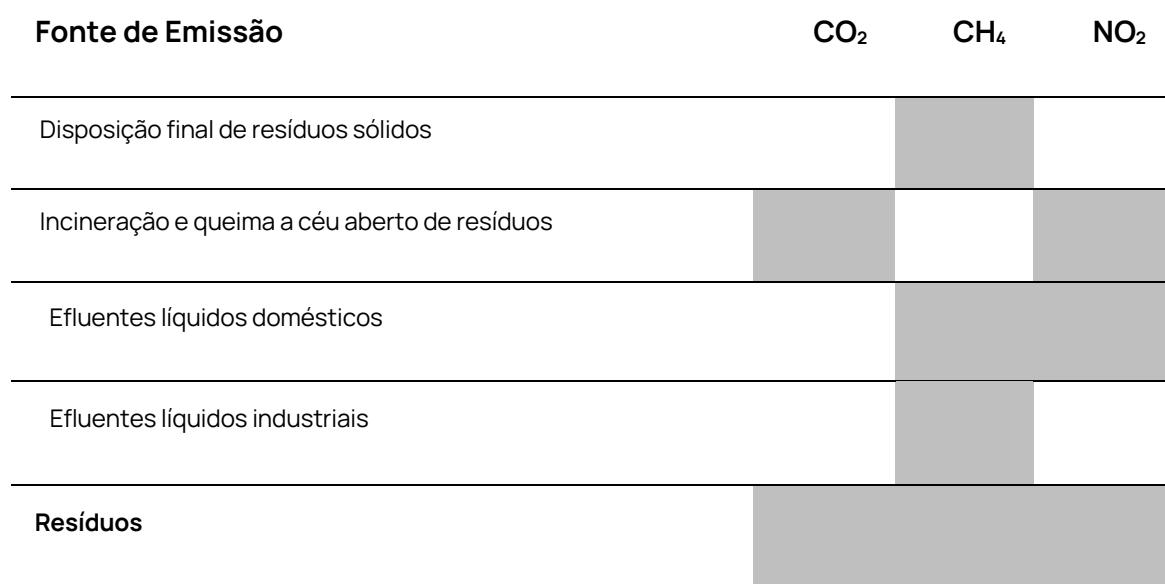
Para analisar as estimativas do setor, foram classificadas as seguintes indústrias estratégicas que geram grande volume de Demanda Bioquímica de Oxigênio no Brasil: produção de carne bovina, suína e de avos, produção de celulose, leite cru e leite pasteurizado e cerveja. Na atualização do 4º inventário, os valores da fração de água residuária industrial tratada por tecnologia empregada utilizados nas edições anteriores do Inventário Nacional foram mantidos, com exceção dos setores produtivos de açúcar e álcool, que anteriormente eram contabilizados.

Adequando esses setores ao Manual de conservação e reuso de água no setor sucroenergético, da Agência Nacional de Águas – ANA (2009), todos os efluentes das usinas de cana-de-açúcar, independentemente da etapa de produção (lavagem da cana, resfriamento, limpeza de equipamentos, entre outros) ou do tipo de produto gerado (açúcar ou etanol) são dispostos no solo para fertilização ou simplesmente como descarte. Dessa forma, foi considerado o envio de 100% da água residuária das indústrias de açúcar e álcool para o solo. Essa alteração acarretou uma diminuição das emissões que tiveram a magnitude proporcional à não contabilização das emissões das indústrias de açúcar e álcool.

Os efluentes industriais apresentam diferentes cargas de material orgânico dependendo do setor do processo industrial, pode ser responsável por emitir quantidades significativas de CH₄ dependendo das condições sob dos tipos de tratamento disposição adotada.

O Quadro 2 apresenta a compilação dos tipos de GEE provenientes do tratamento e afastamento de resíduos, bem como a contribuição específica de cada subsetor.

Quadro 2 - Tipos de gás emitidos por cada subsetor



De acordo com o IPCC, inventários devem ser completos, acurados, transparentes, comparáveis, consistentes e serem submetidos a processos de controle de qualidade. O presente estudo foi elaborado dentro destas premissas, considerando a disponibilidade de dados sobre a gestão de resíduos no Brasil.

No geral, as emissões foram quantificadas a partir da análise da gestão de resíduos na escala municipal, em informações sobre as unidades da federação (UFs). Foram considerados dados oficiais de diferentes plataformas, uma vez que não houve introdução de novos setores industriais na economia brasileira e, consequentemente não houve modificação na indústria brasileira, as informações disponíveis Relatório de Referência “Setor Tratamento de Resíduos” (MCTI, 2015), parte integrante do 3º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, se mantiveram, bem como atualizações no Relatório para Consulta Pública a Especialistas do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE. Diante da ausência de dados de atividades, algumas hipóteses simplificadoras e correlações matemáticas foram aplicadas.

Para cada um dos tópicos analisados é fundamental entender índices de geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos e líquidos, de modo a se realizar a estimativa de emissões. Os tipos de destinação (especialmente a distinção entre processos anaeróbios e aeróbios) podem oferecer um potencial maior ou menor de emissões. As condições climáticas (temperatura e umidade) locais também podem impactar positivamente ou negativamente as emissões geradas.

2. Metodologia de Cálculo

Disposição de resíduos sólidos

O SEEG estimou as emissões de CH₄ relacionadas à disposição final ambientalmente adequada e inadequada pela metodologia descrita nas diretrizes do IPCC de 2006, baseada no método de Decaimento de Primeira Ordem (FOD, acrônimo em inglês). Esse método assume que todo o componente degradável orgânico nos resíduos se degrada no decorrer de algumas décadas. Nesse método, a taxa de produção de CH₄ depende unicamente na quantidade de carbono remanescente no resíduo, isso na prática significa que as emissões de metano são maiores nos primeiros anos após a disposição e declinam gradativamente ao longo dos anos seguintes.

Foi considerada a existência de locais manejados ambientalmente adequados (aterros sanitários) e locais não categorizados ambientalmente inadequados (lixões e aterros controlados) no Brasil. O setor de disposição final é subdividido em três subsetores nos quais os cálculos são efetivados: Resíduos sólidos municipais; resíduos hospitalares e lodo de esgoto doméstico.

As equações utilizadas para o cálculo das emissões de gás metano (CH₄) do setor de disposição final foram encontradas no manual técnico do IPCC. A equação utilizada para estimar as emissões de metano para um ano específico é descrita a seguir:

$$\text{Emissões de CH}_4 = \left[\sum_x \text{CH}_4 \text{ gerado}_{x,T} - R_T \right] \times (1 - OX_T)$$

Onde:

Emissões de CH₄: Metano emitido no ano T (tonelada);

T: Ano de inventário;

x: Tipo de resíduo ou disposição final;

RT: CH₄ recuperado no ano T (tonelada);

OXT: Fator de Oxidação no ano T (fração).

O modelo de FOD baseia-se na obtenção de um fator exponencial que descreve a fração degradável do carbono que deve ser efetivamente degradada em determinado ano. Para tanto, quantifica-se a quantidade de matéria orgânica degradável (DDOCm) depositada e a quantidade de matéria orgânica acumulada, de acordo com a equações a seguir:

$$DDOCm = W_i \times DOC \times DOC_F \times MCF$$

Onde:

DDOCm: Quantidade de DOC degradável depositada (toneladas);

W_i : Quantidade de resíduo depositada (tonelada);

DOC: Carbono Orgânico Degradável no ano de disposição (fração);

DOC_f: Fração de DOC que decompõe (fração);

MCF: Fator de correção de metano (fração).

Após a definição da taxa de coleta de resíduos e da quantidade de matéria orgânica degradável (DDOCm), deve-se obter a fração orgânica acumulada para determinado ano, conforme a aplicação da equação abaixo:

$$DDOC_{ma_T} = DDOC_{md_T} + (DDOC_{ma_{T-1}} \times e^{-k})$$

Onde:

T: Ano de inventário

DDOC_{maT}: DDOCm acumulado no local de disposição no fim do ano T (tonelada);

DDOC_{maT-1}: DDOCm acumulado no local de disposição final no fim do ano (T-1) (tonelada);

k: Taxa constante de geração de metano

Como o produto é proporcional à quantidade de material degradável, isso significa que o ano de disposição não é relevante na geração de metano e sim, a quantidade de matéria que se decompõe no final do ano T, determinada pela equação a seguir:

$$DDOC_{m\ decompt} = DDOC_{ma_{T-1}} \times (1 - e^{-k})$$

Onde:

DDOC_{m decompt}: DDOCm decomponível no local de disposição no final do ano T

DDOC_{maT-1}: DDOCm acumulado no local de disposição final no fim do ano (T-1);

k: Taxa constante de geração de metano

Por fim, a quantidade de CH₄ gerada a partir do material decomponível é obtida pela multiplicação da fração de metano encontrada no biogás e razão estequiométrica de CH₄/C, conforme pode ser observado na seguinte equação:

$$CH_4\ gerado_T = DDOC_{m\ decompt} \times F \times \frac{16}{12}$$

Onde:

CH₄ gerado T: Quantidade de metano gerado a partir do material decomponível (tonelada);

DDOCm decompt: DDOCm decomponível no local de disposição no final do ano T (tonelada);

F: Fração de metano no volume de biogás (fração);
16/12: Razão Estequiométrica (CH₄/C)

Dados de atividade necessários e suas respectivas fontes

- W_i = Quantidade de resíduo disposta
- MSW: Taxa de resíduos dispostos

A variável W , ou seja, a quantidade total de resíduos dispostos em aterros sanitários, controlados ou lixões foi obtida a partir das metodologias apresentadas no Relatório de Referência do Quarto Inventário, bem como em fontes adicionais, como por exemplo, informações municipais apresentadas na Série Histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). As abordagens adotadas para cada tipo de resíduos podem ser observadas a seguir:

Resíduos sólidos municipais – Foram adotados dois métodos para estabelecer a quantidade total de resíduos sólidos municipais, o primeiro foi obtido a partir de dados apresentados pelas próprias municipalidades no Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNISA), na ausência de informações municipais, foi aplicada a equação abaixo

$$TaxaMSW(t)i = Geração\ per\ capita_{UF} \times Pop_{Municipal} \times Taxa\ de\ coleta_{Municipal}$$

Onde:

TaxaMSW: Taxa de coleta de MSW - [kgMSW.(hab.dia)-1]

Popurb: População -[hab]

Geração per capitaUF: Geração per capita por UF- [kg hab-1 d-1] -Taxa de coletaMunicipal: Taxa de coleta por município[adimensional]

A análise do Censo Demográfico de 1970, 1980, 1990, 2000, 2010 e 2022 permitiu a obtenção de informações populacionais desagregadas por municípios nos respectivos anos de referência. De acordo com o novo Censo Demográfico de 2022 e sua atualização metodológica, houve um decréscimo na taxa populacional desse último ano, para os anos de 2001 a 2022 foram utilizadas as taxas populacionais apresentadas nas Estimativas de População do IBGE, sendo que para anos posteriores é observada um novo aumento no número de habitantes. Para anos sem informações, foi replicada a metodologia apresentada no relatório de referência do quarto inventário para as unidades da federação e as mesmas taxas de crescimento foram extrapoladas para os municípios.

Em relação às taxas de geração de resíduos per capita, adotou-se como base os valores apresentados no quarto inventário de 1970 a 1976, optou-se por adotar a mesma taxa apresentada no primeiro ano informação do inventário (1977). Já para anos com lacunas de informações foram adotadas interpolações lineares. E, por fim, para anos posteriores a 2016, foram obtidos dados apresentados no SNISA/SNIS.

Para anos com lacunas de informações foram realizadas interpolações lineares.

RSS – a quantidade de resíduos de serviços de saúde foi obtida com bases nas metodologias apresentadas no Relatório de Referência do Quarto Inventário.

- MCF: Fator de correção de metano

O fator de correção de metano (MCF) é definido pelas diretrizes do IPCC como 1 para aterros sanitários; 0,6 para outros, no caso, aterros controlados e lixões. Isto implica que o potencial de geração de metano é maior quando resíduos são dispostos de forma ambientalmente inadequada.

- DOC: Carbono orgânico degradável por tipo de resíduo

Variável relacionada com a quantidade de carbono nos resíduos, associada a composição gravimétrica dos materiais coletados.

Para os resíduos sólidos municipais os valores de DOC por UF foram obtidos na nova edição do Quarto Inventário. Destaca-se que foram adotadas taxas estaduais e as mesmas foram replicadas para toda a série e para todos os municípios. Para RSS, adotou-se o valor default do IPCC para Clinical Waste (CW), de 15% do total de resíduo úmido produzido. Enquanto para lodo, o fator de conversão de 0,333 kg C por kg de DBO indicado no inventário nacional foi utilizado.

- DOC_f : Fração do DOC que degradável [adimensional]

Parâmetro com valor default de 0,5, indicado nas diretrizes do IPCC.

- F: Fração de metano no biogás [adimensional]

Parâmetro com valor default de 0,5 descrito nas diretrizes do IPCC

- 16/12: Razão de conversão de carbono (C) para metano (CH_4) [adimensional]
- R: Recuperação de metano

Variável referente à recuperação de metano, por meio da queima ou aproveitamento energético. A quantidade de metano recuperado foi obtida a partir de dados apresentados na plataforma de consulta de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Destaca-se que, de 2003 a 2023, foram contabilizados 54 projetos de recuperação de biogás no Brasil associados a resíduos sólidos, sendo responsáveis pela recuperação de cerca de 0,6 Mt CH_4 em 2024. É importante destacar que apesar de ser a única fonte com informações consolidadas a nível nacional sobre a recuperação de metano em projetos associados com o tratamento de resíduos, a plataforma está com muitos projetos desatualizados e fora do período de crédito. Impossibilitando uma compreensão real do potencial de aproveitamento do metano gerado em aterros sanitários.

- OX: Fator de Oxidação

Representa a quantidade de CH_4 que sofre oxidação no solo ou material de cobertura. Conforme o IPCC (2006), os aterros sanitários tendem a possuir maior OX que em locais sem gerenciamento. No entanto, como a prática de cobertura diária de resíduos não é uma prática comum no Brasil, optou-se por adotar o valor zero para toda série histórica.

- k: taxa constante de geração de metano

Em termos de novas informações necessárias para a análise de emissão de metano considerando a condicionante temporal, foi necessário estimar a taxa constante de geração de metano (k), que define o tempo em que o DOC do RSU disposto no solo decai para a metade de sua massa inicial.

O k é definido de acordo com as características climáticas da região, onde climas mais quentes e úmidos favorecem a degradação anaeróbia, enquanto climas quentes e secos ou frios e secos tornam mais lenta a degradação anaeróbia (MCTI, 2016). Para a definição da taxa constante foram levantadas informações de temperaturas médias anuais (MAT), precipitação média anual (MAP) e o potencial de evapotranspiração (PET).

Fatores de emissão utilizados

Os fatores de emissão, compatíveis com a comunicação nacional, utilizados para o cálculo de emissões do setor foram obtidos direta e indiretamente no Relatório de Referência do setor e nas diretrizes do IPCC.

Modo de recepção e sequência de tratamento dos dados

Fontes de dados:

IBGE - População Urbana e total- Censos 1970, 1991, 2000, 2010 e 2022. Os dados dos Censos estão disponíveis em <https://censo2022.ibge.gov.br/> e estimativas da população.

SNIS – Taxa de coleta obtidas na ferramenta da série histórica/ Tipo de disposição final obtidas por meio das informações sobre o fluxo de resíduos para as unidades de processamento. Para municípios sem informações foram adotadas interpolações lineares e dados estaduais.

ABRELPE/ABREMA – Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2023), disponíveis em www.abrelpe.org.br

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa e Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa

Os dados obtidos foram compilados no formato de planilha eletrônica e tratados a fim de se obter uma análise estadual no programa Microsoft Excel.

Softwares utilizados

R Studio, Microsoft Excel e Adobe Acrobat Reader.

Método de Alocação das Emissões por Estado

A estimativa de emissões foi realizada na escala municipal brasileiro e o método de alocação por estado se deu a partir da soma das contribuições municipais.

Método para preencher as lacunas temporais de dados

Para o período em que se registrou uma ausência de informações, foi utilizado o método de interpolação linear para estimar as taxas de material coletado por estado e correlações matemáticas para definir os tipos de encaminhamento adotados para a disposição final. Na ausência de informações municipais foram adotados dados estaduais e os mesmos foram projetados para os municípios.

Efluentes líquidos domésticos

A estimativa de emissão de CH₄ pelo tratamento e afastamento de efluentes domésticos pode ser definida de acordo com a seguinte equação:

$$\text{CH}_4 \text{ emissões} = [\text{TOW}_{\text{dom}} \times \text{FE}] - \text{R}$$

Onde:

CH₄ Emissões: Quantidade de metano gerada ao ano [kg CH₄/ano]

TOW_{dom}: Efluente doméstico orgânico total [kg DBO/ano]

FE: Fator de emissão [kg CH₄/kg DBO] R: CH₄ recuperado ao ano [kg CH₄/ano]

A Equação a seguir estima o efluente doméstico orgânico total:

$$\text{TOW}_{\text{DOM}} = [\text{Pop} \times \text{D}_{\text{dom}}] - \text{S}_I$$

Onde:

Pop_{urb}: População urbana [habitantes]

D_{dom}: Componente orgânico degradável do efluente doméstico [kg DBO/ 1.000 pessoas.ano)]

S_I: componente orgânico removido do lodo no ano inventariado [kg DQO ano-1]

Para determinar o fator de emissão (FE) para efluentes domésticos utiliza-se a equação a seguir:

$$\text{FE} = \text{B}_0 \times \sum_x (\text{WS}_{i,x} \times \text{MCF}_x)$$

Onde:

B₀: Capacidade máxima de produção de metano [kg CH₄/kg DBO] ou [kg CH₄/kg DQO]

WS_{i,x}: Fração de efluente do tipo "i" tratada usando o sistema "x" [adimensional]

MCF_x: Fator de conversão de metano do sistema "x" tratando o efluente "i" [adimensional]

$\sum (\text{WS}_{i,x} \times \text{MCF}_x)$: A somatória do produto dos coeficientes WS_{i,x} e MCF_x corresponde ao MCF ponderado.

As emissões de N₂O foram quantificadas aplicando a equação a seguir:

$$\text{N}_2\text{O emissões} = \text{Pop} \times \text{CP} \times \text{Frac}_{\text{NPR}} \times \text{EF}_{\text{efluente}} \times \frac{44}{28}$$

Onde:

Emissões de N₂O(s): Emissões anuais de óxido nitroso [kgN₂O-N.ano⁻¹]

Pop: População urbana [habitante]

CP: Consumo anual de proteína per capita [kg.(habitante.ano)⁻¹]

Frac_{NPR}: fração de N na proteína [kgN.kgproteína⁻¹]

EF_{efluente}: Fator de emissão de N₂O [kgN₂O-N.kgN⁻¹]

O método de cálculo das frações a partir das fontes citadas não está integralmente descrito no documento, bem como nota-se que as frações calculadas para cada Estado não estão disponíveis.

Em função do exposto, não foi possível replicar integralmente a metodologia adotada pelo MCTI para o cálculo das emissões no âmbito da plataforma SEEG.

Dados de nível de atividade necessários e respectivas fontes

Emissões de metano

- Pop: População

As informações populacionais, com um nível de desagregação municipal, foram obtidas a partir dos Censos Demográficos. Para anos sem informação de dados, foram utilizadas correlações lineares.

- D_{dom} : Componente orgânico degradável do efluente doméstico

Variável relativa à geração de carga orgânica por habitante, expressa em demanda bioquímica de oxigênio por habitante por dia (gDBO. hab⁻¹.dia⁻¹). De acordo com o Relatório de Referência “Tratamento de Resíduos”, a D_{dom} varia entre 45 e 60 gDBO.hab⁻¹.dia⁻¹, adotando como padrão o valor de carga orgânica diária por habitante de 54g DBO. hab⁻¹.dia⁻¹.

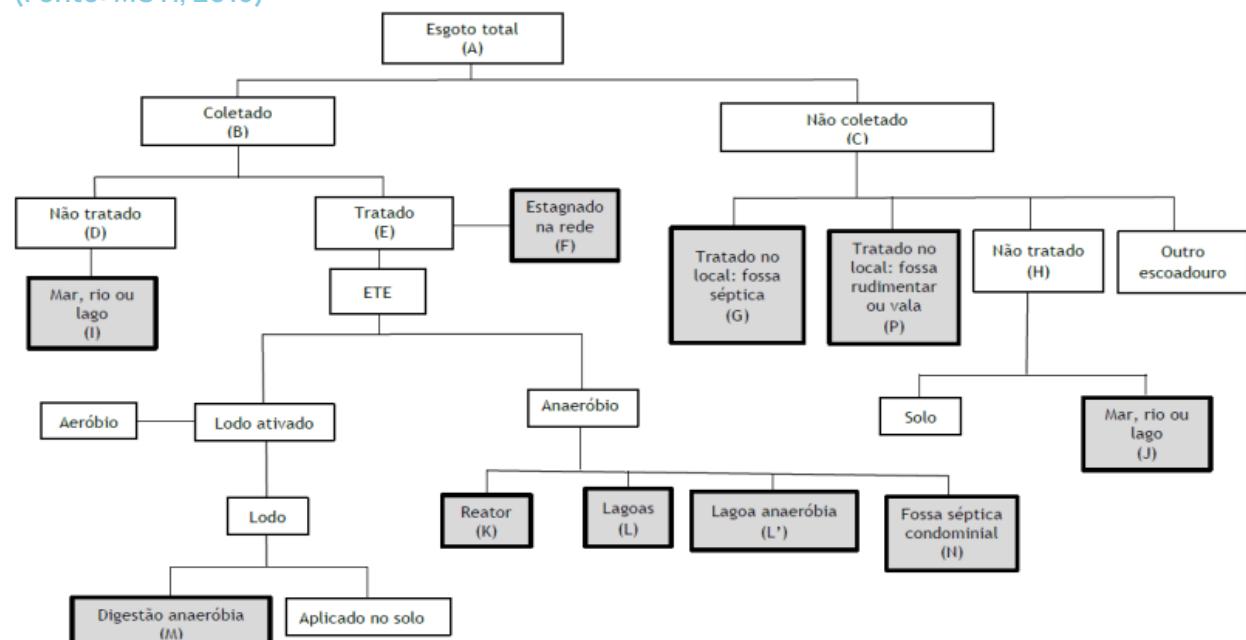
- B_0 : Capacidade máxima de produção de metano

Utilizou-se o valor *default* estabelecido pelo IPCC de 0,60 kgCH₄.kgDBO⁻¹

- $WS_{i,x}$: Fração de efluente do tipo “i” tratada usando o sistema “x” [adimensional]

O WSi,x corresponde a fração de efluente do tipo i tratada pelo sistema x em relação a geração total de efluentes líquidos domésticos. Na análise do SEEG, considera-se que os efluentes podem ser coletados ou não coletados, sendo que estão sujeitos a diferentes métodos de tratamento ou podendo ser descartados diretamente em corpos hídricos. A Figura 1 apresenta uma caracterização de rotas e tratamento de efluentes líquidos no Brasil.

Figura 1 - Fluxograma de rotas de tratamento de efluentes líquidos domésticos no Brasil
(Fonte: MCTI, 2015)

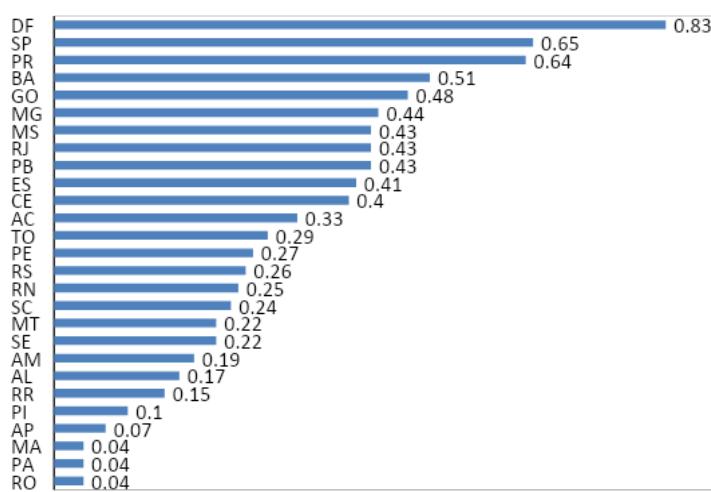


Para estimar as emissões de GEE do subsetor, buscou-se incorporar informações do Atlas Esgotos², elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. O Atlas Esgotos apresenta uma análise da situação do esgotamento sanitário nos 5.570 municípios brasileiros referente ao ano de 2013, além de um estudo posterior para o ano de 2019.

O setor de efluentes líquidos no Brasil é caracterizado pela ausência e/ou inconsistência de informações históricas. Mediante essa dificuldade, definiu-se como premissa para os cálculos que para municípios com mais de 500.000 habitantes³, em 1970, era observado uma taxa de coleta e tratamento de 12,5%. Essa taxa corresponde ao índice de coleta médio observado no Brasil de acordo com o Censo Demográfico de 1970. Enquanto para municípios com menos de 500.000 habitantes, foi definido que o índice de coleta equivalia à zero.

A partir da definição da linha de base de 1970, para os municípios com mais de 500.000 habitantes, os índices de coleta foram interpolados linearmente até 1990, ano de Censo em que foi possível identificar a fração da população com acesso ao sistema de coleta de efluentes, bem como os domicílios que adotam fossa séptica como solução de tratamento. Para os anos de Censo 2000, 2010 e 2022, foi possível obter informações detalhadas, o mesmo observado para 2013, ano de referência do estudo da ANA. Já para anos posteriores, adotaram-se os dados municipais obtidos na ferramenta de pesquisa do SNIS. A Figura 2 apresenta os índices de coleta e tratamentos de efluentes líquidos no ano de 2013. Os valores foram obtidos a partir da média ponderada dos índices municipais encontrados no Atlas Esgotos.

Figura 2 - Frações de coleta com tratamento de efluentes líquidos no Brasil em 2013, desagregadas por UF (Fonte: Adaptado ANA, 2017)



² Disponível em: <http://atlacesgotos.ana.gov.br/>

³ Contexto de implantação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), com vigência de 1971 a 1990, que priorizou as regiões metropolitanas, a fim de atingir ganhos em escala quanto aos índices de cobertura de sistemas de abastecimento de água e coleta e tratamento de efluentes domésticos.

Podem ser observadas incertezas na abordagem utilizada no que se refere a dados históricos e ao crescimento linear dos índices de coleta. Entende-se que a partir da implantação de um sistema de tratamento de efluentes domésticos devem ser observados saltos nas taxas de coleta e tratamento. No entanto, mediante a falta de informação a nível municipal, optou-se por utilizar uma abordagem mais conservadora.

- MCF_x : Fator de conversão de metano do sistema “x” tratando o efluente “i” [adimensional]

O MCF_x corresponde ao fator de correção do metano associado ao tipo de tratamento adotado, onde tratamentos anaeróbios apresentam o MCF próximo a um. Na prática, assim como registrado para o subsetor de resíduos sólidos urbanos, tratamentos anaeróbios apresentam um potencial maior de geração de metano do que tratamentos aeróbicos. A Tabela 1 apresenta os valores defaults apresentados na nova edição do inventário nacional para efluentes com tratamento e o intervalo apresentado no IPCC para efluentes não coletados ou não tratados.

Tabela 1 - Descrição dos MCF por tipo de tratamento

Tipo de tratamento e destino do efluente ou sistema alternativo	MCF
Para sistemas sem rede coletora	
Lançamento direto	0,11 (0,004 - 0,27)
Efluente estagnado	0,5 (0,4 - 0,8)
Para sistemas com rede coletora	
Reator Anaeróbio	0,8
Lagoa Anaeróbia	0,8
Lagoa Aeróbia	0,3
Lagoa Mista	0,5
Lagoa de Maturação	0,5
Lagoa Facultativa	0,3
Fossa séptica condominial	0,5
Valo de oxidação	0,3
Filtro biológico	0,3
Lodo ativado	0,3
Outro	0,5

Para cada tipo de tratamento foram adotados os MCF apresentados no inventário nacional. No entanto, diante da falta de informação sobre efluentes sem sistemas de coleta, optou-se por adotar o MCF, intervalo máximo de lançamento direto, conforme estipulado pelo IPCC. Essa abordagem foi adotada por ser possível entender por qual tipo de processo a matéria orgânica é degradada nos sistemas não tradicionais.

- $\sum (WS_{i,x} \times MCF_x)$: Produto dos coeficientes $WS_{i,x}$ e MCF_x

Variável relacionada à somatória do produto dos coeficientes de fração de efluente do tipo “i” tratada usando o sistema “x” e o fator de conversão de metano do sistema “x” tratando o efluente “i”.

Para obter os produtos da fração de efluentes o tipo i tratada usando o sistema x e o MCF específico do tratamento x, foram quantificados, a partir de dados disponíveis no relatório da Agência Nacional de Águas. De acordo com o Atlas de Esgotos, foram levantadas 3191 ETEs que aplicam diferentes tipos de tratamentos distribuídos em 1900 municípios. Como os dados da ANA são apresentados pela população atendida, foi possível obter a fração de efluente tratado por determinado tipo de tratamento. Esse valor foi multiplicado pela taxa da população que recebe serviço de coleta e tratamento, de modo que foi possível obter o produto de coeficientes.

É importante destacar que não foi possível obter informações sobre a quantidade de população atendida por determinado tipo de tratamento para anos anteriores ou posteriores, de modo que foi adotada contribuição do tipo de tratamento para toda a série. No entanto, os índices de taxa de cobertura e coleta foram obtidos para os diferentes anos, com base em dados do Censo, SNIS e Atlas de Esgotos.

- S_I : componente orgânico removido do lodo

A massa de lodo gerada e removida nas estações foi calculada com base em valores de referência apresentados no inventário nacional, no qual são apresentados valores de geração por unidade de DBO tratada por tipo de tratamento adotado.

Modo de recepção e sequência de tratamento dos dados

As seguintes fontes de dados foram utilizadas:

- MCTI. Quarto Inventário Brasileiro de Emissões/ Relatório de Referência “Tratamento de Resíduos”. Emissões de CH₄, por Estado, de 1990 a 2010.
- IBGE. População - Censos 1991, 2000, 2010 e 2022. A partir das informações do Censo, foram aplicadas variações lineares entre 1991 e 2000, 2000 e 2010. Para os anos 2011 e 2012, aplicou-se o mesmo crescimento do período anterior (2000 e 2010). Os dados dos Censos estão disponíveis em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>
- ANA Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas /Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. -- Brasília: ANA, 2017.

- SNIS – ferramenta de busca para obter dados de taxa de cobertura do sistema de coleta e tratamento por município.

Fatores de Emissão Utilizados

Em relação às emissões de CH₄, o fator de emissão utilizado foi obtido com base no Relatório de Referência do setor, que por sua vez foi fundamentado nas diretrizes do IPCC, multiplicando-se a capacidade de geração de metano (B₀) pelo MCF ponderado para resíduos coletados e não coletados

Emissões de Óxido Nitroso (N₂O)

Assim como a metodologia adotada para a estimativa da produção de CH₄, o cálculo para obter as emissões de N₂O associadas ao tratamento e afastamento de efluentes domésticos foi realizado considerando a população.

- CP: Consumo anual de proteína per capita

O valor de Consumo de Proteína anual (CP) foi obtido a partir da interpolação valores de referência descritos no Relatório de Referência do setor, com abrangência no período de 1990 a 2010. Para os períodos de 1970 a 1990 e 2010 a 2015, estabeleceu-se uma regressão linear, possibilitando a obtenção dos valores de CP per capita para toda série histórica.

- Frac_{NPR}: fração de N na proteína

Foi utilizado o valor de 0,16 kgN.kgproteína⁻¹, default do IPCC.

- EF_{efluente}: Fator de emissão de N₂O

Foi empregado o default do IPCC de 0,005kg N₂O-N.kgN⁻¹.

Fatores de Emissão Utilizados

Em relação às emissões de CH₄, o fator de emissão utilizado foi obtido com base no Relatório de Referência do setor, que por sua vez foi fundamentado nas diretrizes do IPCC, multiplicando-se a capacidade de geração de metano (B₀) pelo MCF ponderado para resíduos coletados e não coletados. Os fatores de emissão para o cálculo de emissão de N₂O foram obtidos diretamente no Relatório de Referência do setor de tratamento de resíduos.

Modo de recepção e sequência de tratamento dos dados

Os dados do Censo foram acessados no site do IBGE; os valores de consumo de proteína para estabelecer a emissão de N₂O foram obtidos a partir do inventário nacional.

Os dados foram transcritos para uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel e todas as análises foram realizadas no mesmo programa

Softwares utilizados

R Studio, Microsoft Excel e Adobe Acrobat Reader.

Método de Alocação das Emissões por Estado

A alocação das emissões por cada estado foi realizada a partir da somatória de emissões de GEE relacionadas ao tratamento de efluentes líquidos dos diferentes municípios no Brasil.

Método para preencher as lacunas temporais de dados

Para o período em que se registrou a ausência de informações, optou-se por utilizar o método de interpolação linear para estimar os índices de MCF ponderados, taxas de população com coleta de esgoto e CP.

Tratamento de Efluentes Industriais

As emissões associadas ao tratamento de efluentes industriais são quantificadas de forma semelhante à apresentada na seção de efluentes líquidos domésticos. A divergência no processo se dá na quantificação da carga orgânica, a qual para efluentes industriais relaciona-se com as taxas de produção industrial, conforme pode ser observado na equação a seguir.

$$TOW_{IND} = [Pop \times D_{IND}]$$

Onde:

Pi: Produção industrial [t produto/ano]

D_{ind}: Emissão de carga orgânica [kg DBO/t produto]

Os valores do MCF ponderado de cada setor industrial estão presentes no Quarto Inventário Brasileiro para os anos de 1990 e 2010. No período de 1990 a 2010, os valores dos fatores de correção foram interpolados linearmente. Para os períodos sem informação, os MCF foram extrapolados.

A fim de estimar o metano recuperado (R) foram adotados como base os valores de recuperação apresentados no 4º Inventário Nacional, a partir do qual foi possível definir o MCF de recuperação para cada uma das atividades industriais, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos MCF de recuperação

Atividade Industrial	MCF recuperação
Leite Cru	0,09
Leite Pasteurizado	0,15
Celulose	0,00
Cerveja	0,48
Aves	0,08
Bovinos	0,12
Suínos	0,15

Dados de Nível de Atividade necessários e respectivas fontes

Os dados de produção industrial dos diferentes setores industriais analisados foram obtidos por meio das referências listadas a seguir:

- Leite cru: Pesquisa Pecuária Municipal disponível no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação de dados – SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br>)
- Celulose: Série história solicitada para a Indústria Brasileira de Árvore (Ibá).
- Cerveja: Os dados de 2006 a 2016 são da Pesquisa Industrial Anual disponível no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação de Dados – SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br>). Os dados a partir de 2017 foram obtidos por meio da Associação Brasileira da Indústria de Cerveja (CervBrasil).
- Abate de Bovinos: Pesquisa Trimestral do Abate de Animais do IBGE disponível no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação de Dados – SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br>).
- Abate de Aves: Pesquisa Trimestral do Abate de Animais do IBGE disponível no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação de dados – SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br>)
- Abate de Suínos: Pesquisa Trimestral do Abate de Animais do IBGE disponível no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação de dados – SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br>)
- Leite pasteurizado: Em relação ao Leite pasteurizado, os dados oficiais do IBGE (Pesquisa Mensal do Leite) são referidos ao período 1989 – 1996 e Pesquisa Industrial Anual. Para anos mais recentes foram obtidas informações nacionais no relatório da ABLV – Associação Brasileira da Indústria de Lácteos Longa Vida.

Modo de recepção e sequência de tratamento de dados

Os dados da produção industrial foram obtidos através das instituições listadas a seguir:

- IBGE - disponíveis para consulta e para download no site do IBGE através do Banco de dados Sistema IBGE de Recuperação de Dados Automática – SIDRA e das Séries Históricas e Estatísticas;
- Ibá – Dados históricos sobre a produção de celulose solicitada diretamente à instituição;

Os dados de Leite cru são disponibilizados em litros e foram convertidos em toneladas, utilizando-se a densidade média de 1,032Kg/l apresentados pela EMBRAPA;

A fração de metano recuperada nos diferentes setores foi calculada pela aplicação do MCFponderado de recuperação descrito no Relatório de Referência do setor.

Softwares utilizados

Microsoft Excel, R Studio e Adobe Acrobat Reader

Método de Alocação das Emissões por Estado

No geral, a alocação das emissões por cada estado foi feita em relação à produção estadual conforme os dados obtidos, portanto, as emissões obtidas já estavam condizentes com as divisões e consolidação de estados.

As produções de cerveja, celulose e leite pasteurizado foram marcadas pela dificuldade em desagregar os dados por UF. Para celulose, a alocação se deu por meio do levantamento de plantas de indústrias de produção no Brasil e sua capacidade instalada. Para leite pasteurizado, a alocação se deu por meio do Cadastro Individual de produtores de laticínios obtido no MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. No entanto, para cerveja, a partir das informações disponíveis, não foi possível alocar as emissões nos estados brasileiros.

Método para preencher as lacunas temporais de dados

Utilizaram-se regressões lineares e correlações com indicadores relativos a cada setor para se estabelecer índices de produção industrial para os anos com dados não disponíveis.

Incineração de resíduos sólidos e queima a céu aberto

Incineração

A estimativa de emissão de CO₂ por incineração de resíduos sólidos é determinada de acordo com a seguinte equação:

$$CO_2 \text{ emissões} = \sum_i (IW_i \times CCW_i \times FCF_i \times EF_i \times \frac{44}{12})$$

Onde:

CO₂ emissões: Quantidade de CO₂ gerada ao ano [kg CO₂/ano]

I: tipo de resíduo

W_i :Massa de resíduo incinerado per tipo [t / ano]

CCW: Carbono contido no resíduo tipo i [adimensional]

FCF: Fração de carbono fóssil no resíduo tipo i [adimensional]

EF: Eficiência de queima dos incineradores de resíduo tipo i [adimensional]

44/12: Conversão de C para CO₂ [adimensional]

A estimativa de emissão de N₂O por incineração de resíduos sólidos é determinada de acordo com a seguinte equação:

$$N_2O \text{ emissions} = \Sigma_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

Onde:

N₂O emissões: Quantidade de óxido nitroso gerada ao ano [tN₂O/ano]

W_i: Massa de resíduo incinerado por tipo i [t/ano]

EF_i: Fator de emissão para o tipo i de resíduo [kg N₂O/t de resíduos]

10⁻³: fator de conversão de kg para t [10⁻³ t/kg]

Dados de Nível de Atividade necessários e respectivas fontes

Os dados relativos à incineração de resíduos de serviços de saúde foram obtidos no relatório de referência do do setor.

Fatores de Emissão Utilizados

Foram utilizados os seguintes fatores de emissão:

- CO₂: Os valores dos coeficientes CCW, FCF, EF foram obtidos por cada tipo de resíduo incinerado na quarta edição do inventário brasileiro.
- N₂O: Os valores do coeficiente EF por cada tipo de resíduo incinerado foi obtido no quarto inventário brasileiro

Modo de recepção e sequência de tratamento dos dados

Os dados foram processados por meio do Excel. Para anos sem informações foram adotadas regressões lineares por UF.

Softwares utilizados

R Studio, Microsoft Excel e Adobe Acrobat Reader.

Método de Alocação das Emissões por Estado

Os dados da quantidade de resíduos de serviços de saúde incinerados foram estimados com base na população municipal e as taxas de geração de resíduos hospitalares estaduais.

Método para preencher as lacunas temporais de dados

Os dados disponíveis em relação à incineração de resíduos são escassos e de baixa confiabilidade, portanto as lacunas temporais dos dados foram preenchidas através de regressões lineares.

Queima a céu aberto

As equações para estimar as emissões de CH₄, CO₂ e N₂O são semelhantes às equações apresentadas. A estimativa de emissão de CO₂ por incineração de resíduos sólidos é determinada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{CO}_2 \text{ emissões} = \sum_i (IW_i \times DOC \times \frac{44}{12})$$

Onde:

CO₂ emissões: Quantidade de CO₂ gerada ao ano [kg CO₂/ano]

IW_i: Massa total incinerada [t / ano]

DOC: produto entre a fração gravimétrica e a carga orgânica

44/12: Conversão de C para CO₂ [adimensional]

Já a estimativa de emissão de CH₄ e N₂O por queima de resíduos sólidos é determinada de acordo com as seguintes equações:

$$N_2O \text{ emissions} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

Onde:

N₂O emissões: Quantidade de óxido nitroso gerada ao ano [tN₂O/ano]

IW_i: Massa de resíduo queimada por tipo i [t/ano]

EF_i: Fator de emissão para o tipo i de resíduo [kg N₂O/t de resíduos]

10⁻³: fator de conversão de kg para t [10⁻³ t/kg]

$$CH_4 \text{ emissions} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

Onde:

CH₄ emissões: Quantidade de metano gerada ao ano [tN₂O/ano]

IW_i: Massa de resíduo queimada por tipo i [t/ano]

EF_i: Fator de emissão para o tipo i de resíduo [kg CH₄/t de resíduos]

10⁻³: fator de conversão de kg para t [10⁻³ t/kg]

Para estimar a massa queimada foi adotada como referência apresentada na quarta edição do inventário nacional, que por sua vez foi obtida em IPCC, 2006.

$$MSW_B = P \times P_{FRAC} \times MSW_P \times B_{FRAC} \times 365 \times 10^{-3}$$

Onde:

MSW_B : massa total de MSW queimada a céu aberto [t/ano];

P : população [habitantes];

P_{FRAC} : fração da população que realiza queima [fração];

B_{FRAC} : fração da massa de resíduo que é queimada em relação à massa total de resíduo que é tratada [fração];

MSW_P : Geração per capita de resíduos [kg hab-1 d-1]

365: número de dias no ano;

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

Dados de Nível de Atividade necessários e respectivas fontes

Os dados relativos à quantidade de resíduos queimada foram baseados nas taxas de geração de resíduos conforme apresentado na seção de disposição final. No entanto, para se definir a fração da população que queima os resíduos, foram obtidos dados do número de habitantes que adotam esse tipo de destinação por município nos Censos. Enquanto para as UF foi possível obter informações na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD e PNAD Contínua.

Fatores de Emissão Utilizados

- B_{FRAC} . fração da massa de resíduo que é queimada em relação à massa total de resíduo que é tratada

Parâmetro com valor default de 0,6, conforme indicado nas diretrizes do IPCC.

- CCW, FCF, EF.

Foram utilizados valores médios padrão de massa seca, carbono total (CFi) e de carbono fóssil (FCFi) para cada fração gravimétrica de resíduo sólido municipal, conforme apresentado no inventário nacional e nas diretrizes do IPCC. Os fatores de emissão também estão de acordo com valores apresentados na nova edição do documento nacional.

Modo de recepção e sequência de tratamento dos dados

Os dados foram transcritos para uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel e alocadas as taxas de população e a fração que destina seus resíduos por meio de queima para cada município brasileiro. Para anos sem informações foram adotadas interpolações lineares, bem como foram extrapolados valores estaduais.

Softwares utilizados

R Studio, Microsoft Excel e Adobe Acrobat Reader.

Método de Alocação das Emissões por Estado

Como os dados são obtidos por UF ou por município, o processo de alocação é intrínseco às metodologias para estimar emissões de GEE.

Método para preencher as lacunas temporais de dados

Além das informações de geração per capita de resíduos sólidos e composição gravimétrica já discutida na seção de disposição. Enquanto as taxas da população que destina seus resíduos por meio de queima foram obtidas para os anos de censo (1980, 1991, 2000 e 2010), nos anos intermediários foram aplicadas interpolações lineares. Para anos posteriores, foram adotadas as taxas de crescimento estadual com base nos resultados da PNAD.

Tratamento biológico

A emissão de CH₄ pelo tratamento biológico é definida pela seguinte equação:

$$\mathbf{CH_4\ emissões} = \Sigma_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

Onde:

CH₄ emissões: Quantidade de CH₄ gerada ao ano [tonelada CH₄/ano]

i: tipo de tratamento biológico

M_i: Massa de resíduo orgânico tratada pelo tratamento biológico [tonelada de resíduo]

R: Metano recuperado [tonelada de CH₄]

EF_i: Fator de emissão por tipo de tratamento [g CH₄ kg⁻¹ resíduo tratado]

Já a estimativa de emissão de N₂O é determinada de acordo com a seguinte equação:

$$\mathbf{N_2O\ emissões} = \Sigma_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

Onde:

N₂O emissões: Quantidade de óxido nitroso gerada ao ano [tN₂O/ano]

i: tipo de tratamento biológico

M_i: Massa de resíduo orgânico tratada pelo tratamento biológico [tonelada de resíduo]

EF_i: Fator de emissão para o tipo i de resíduo [kg N₂O/t de resíduos]

10⁻³: fator de conversão de t para kg

Dados de Nível de Atividade necessários e respectivas fontes

Os dados de atividade foram reproduzidos a partir da quarta edição do inventário nacional, o qual estima que em média, 1% do resíduo municipal coletado é enviado à compostagem, e também a partir de informações sobre Unidades Operacionais obtidas na Série Histórica do SNIS. Para anos sem informações, projetou-se esse percentual de tratamento, no total de resíduos municipais coletados, variável que foi apresentada na seção de disposição final.

Quanto ao tratamento por meio de digestão anaeróbica, também considerada uma rota biológica, considera-se que esse tipo de tecnologia ainda não foi disseminado em escala comercial no Brasil (MCTIC,2019).

Fatores de Emissão Utilizados

Foram adotados os fatores de emissão padrões do IPCC, de 4 g de CH₄/kg de resíduos e 0,24 g de N₂O/kg de resíduo.

Modo de recepção e sequência de tratamento dos dados

Os dados foram obtidos e tratados conforme apresentado na seção de disposição final de resíduos sólidos. No entanto, para o tratamento biológico foi realizada uma etapa de cálculo adicional, na qual foi aplicada a taxa de 1% do tratamento por meio de compostagem.

Os dados foram transcritos para uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel. As estimativas de emissões foram realizadas por meio de linguagem em R.

Softwares utilizados

R Studio, Microsoft Excel e Adobe Acrobat Reader.

Método de Alocação das Emissões por Estado

Os dados de atividades adotadas foram obtidos de forma desagregada por UF.

Método para preencher as lacunas temporais de dados

As lacunas de dados foram apresentadas na seção de disposição final de resíduos sólidos.

3. Qualidade de dados

Para a apresentação da qualidade dos dados optou-se por trabalhar com três níveis de classificação em relação à qualidade e confiabilidade dos dados a nível estadual, federal e série histórica:

- Qualidade dos Dados Nacionais Recentes (1990-2024)
- Qualidade dos Dados Históricos (1970-2024)
- Qualidade da Alocação nos Estados

As tabelas abaixo apresentam a qualidade dos dados de atividade do setor de resíduos, de acordo com os três níveis de desagregação indicados.

Tabela 3 - Qualidade de dados recentes de 1990 a 2023.

Setor/ Subsetor / Categorias	Tier	Nível de Atividade			Fator de Emissão	Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral do Dado
		4º Inventário	SEEG	Existência do Dado			
Disposição de Resíduos		2	2	2	2	2	2
Incineração ou queima de resíduos a céu aberto							
Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde		1	1	2	2	2	2
Queima a céu aberto		1	1	2	2	2	2
Tratamento biológico		1	1	3	3	2	3
Tratamento de Efluentes Domésticos		1	1	3	2	3	2
Tratamento de Efluentes Industriais							
Produção de Carne Avícola		2	2	1	1	1	1

Produção de Carne Bovina	2	2	1	1	1	1	1
Produção de Carne Suína	2	2	1	1	1	1	1
Produção de Celulose	2	2	1	2	1	2	1
Produção de Cerveja	2	2	2	1	1	1	1
Produção de Leite Cru	2	2	1	1	1	1	1
Produção de Leite Pasteurizado	2	2	2	2	1	1	2

Legenda da Tabela 3:

Aspecto	Valores
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 de aprimoramento	1 Sem necessidade de aprimoramento
	2 Necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo

Qualidade geral do dado

3	Necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para calculo
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

Tabela 4 - Qualidade dos Dados Históricos (1970-2024)

Setor/ Subsetor / Categorias	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2010	2015	2021	2022	2023	2024	Qualidad e Geral do Dado
Disposição de Resíduos	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Incineração ou queima de resíduos a céu aberto														
Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
Queima a céu aberto	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tratamento biológico	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tratamento de Efluentes Domésticos	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tratamento de Efluentes Industriais														
Produção de Carne Avícola	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
Produção de Carne Bovina	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2

Setor/ Subsetor / Categorias	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2010	2015	2021	2022	2023	2024	Qualidad e Geral do Dado	
Produção de Carne Suína	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
Produção de Celulose	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Produção de Cerveja	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3
Produção de Leite Cru	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Produção de Leite Pasteurizado	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3

Legenda da Tabela 4:

Aspecto	Valores
QUALIDADE RELATIVA DO DADO HISTÓRICO	1 Dado de atividade existente/disponível para o respectivo ano e fator de emissão adequado para época
	2 Dados de atividades estimados pelo projeto ou correlação com outros dados [e/ou] fatores de emissão inadequados para
	3 Dados de atividades estimados e fatores de emissão inadequados

Tabela 5 - Qualidade da Alocação nos Estados

Setor/ Subsetor / Categorias	Ocorrênci a de alocação	Critério de Alocação	Nível de Atividade			Necessidade de Aprimoramento do Dado	Qualidad e Geral da Alocação
			Existênci a do Dado	Disponibilida do Dado	2		
Disposição de Resíduos	1	1	2	2	2	2	2
Incineração ou queima de resíduos a céu aberto							
Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde	1	1	2	2	2	2	2
Queima a céu aberto	1	1	2	2	2	2	2
Tratamento biológico	1	1	2	2	2	2	2
Tratamento de Efluentes Domésticos	1	1	2	2	2	2	2
Tratamento de Efluentes Industriais							
Produção de Carne Avícola	1	1	1	1	1	1	1
Produção de Carne Bovina	1	1	1	1	1	1	1
Produção de Carne Suína	1	1	1	1	1	1	1
Produção de Celulose	1	2	2	2	2	2	2
Produção de Cerveja	3	3	3	1	3	3	3
Produção de Leite Cru	1	1	1	1	1	1	1
Produção de Leite Pasteurizado	1	2	2	2	2	2	2

Legenda da Tabela 5:

Aspecto	Valores
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 de 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

Analizando as tabelas de qualidade observadas acima, nota-se que o setor de Tratamento de Resíduos se destaca por apresentar uma incerteza relevante, devido principalmente à falta de dados. Apenas alguns subsetores apresentam dados confiáveis, especialmente nas séries históricas 1970-1990.

Analizando a confiabilidade e presença dos dados por cada subsetor, constatamos que:

Resíduos Sólidos Municipais: Falta de dados oficiais a nível federal e estadual, alocação obtida através de uma correlação com a população (fonte IBGE). Contexto de falta de dados históricos e do sistema de tratamento o qual os resíduos são destinados, cenário que se altera a partir das informações que são disponibilizadas no SNIS.

Resíduos de serviços de saúde: Resíduos de serviço de saúde, a partir de 2008, têm-se dados mais específicos quanto à quantidade de material encaminha para a rota de tratamento por incineração. No entanto, é necessária uma análise mais rigorosa das plantas existentes.

Tratamento de efluentes líquidos domésticos: Ausência de dados históricos, em especial em relação ao tipo de sistema de tratamento utilizado.

Tratamento de efluentes industriais:

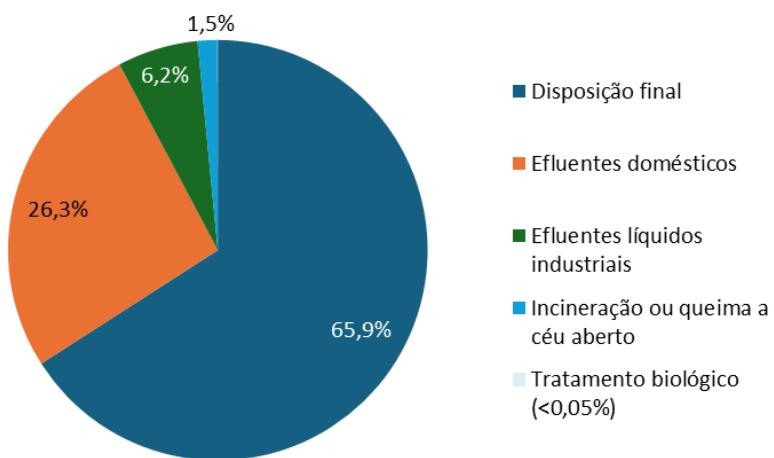
- **Aves, Bovinos e Suíños:** Presença dos dados oficiais de produção: 1997 – 2024 (Fonte IBGE). Falta de dados do período 1970 - 1997
- **Cervejas:** Presença dos dados oficiais de produção nacional: 2006 – 2024. Falta de dados do período 1970 – 2005 sejam a nível estadual ou federal.
- **Leite cru:** Presença dos dados oficiais de produção: 1973 – 2024. Alta confiabilidade de qualidade dos dados e de sua alocação.
- **Leite pasteurizado:** Presença dos dados somente num período de tempo relativamente breve, 1989- 1996; Dados recentes disponíveis, no entanto, observa-se a ausência de dados oficiais para os outros períodos, a nível nacional.
- **Celulose:** Presença dos dados oficiais de produção: 1970 – 2024, a nível nacional.

4. Resultados

Em 2024, o setor de resíduos foi responsável pela emissão de 95,7 milhões de toneladas de CO₂e, um aumento de 3,6% em relação ao ano anterior. No entanto, as emissões se mostraram estáveis nos últimos cinco anos, em torno de 93 milhões de toneladas, sem grandes oscilações.

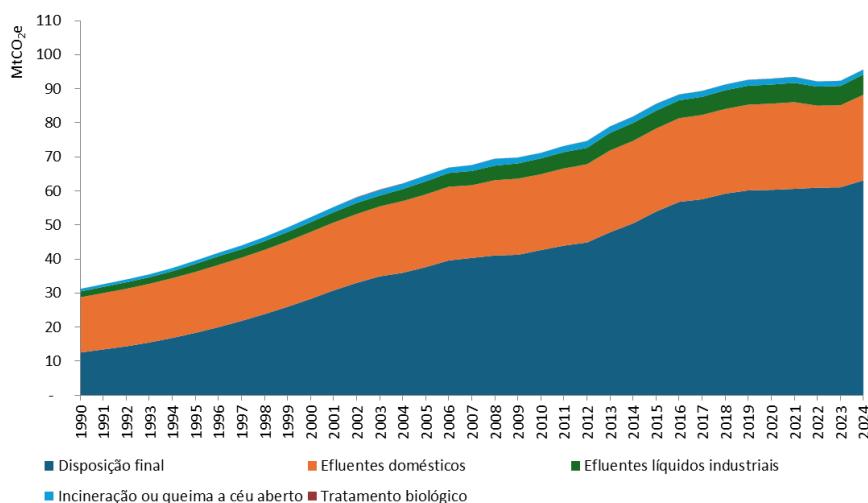
Do total emitido, a principal contribuição permanece associada à disposição de resíduos sólidos em aterros controlados, lixões e aterros sanitários (65,9%), seguida do tratamento de efluentes domésticos (26,3%), do tratamento de efluentes líquidos industriais (6,2%) e contribuições menos significativas da incineração, da queima a céu aberto e da compostagem (1,5%), que são práticas pouco adotadas no Brasil. A figura abaixo ilustra a divisão das emissões do setor.

Figura 3 - Distribuição das emissões do setor de resíduos no ano de 2024.



Historicamente, as emissões do setor são marcadas pelo crescimento acentuado (com certa estabilização desde 2020, quando as emissões vêm se mantendo na casa das 93 MtCO₂e). Esse comportamento está associado ao aumento da população, a avanços no acesso aos serviços de saneamento, bem como ao aproveitamento dos gases gerados no tratamento de resíduos. No entanto, a gestão sustentável de resíduos sólidos (considerando práticas de valorização de resíduos sólidos e utilização de diferentes rotas de tratamento) tem avançado pouco, apesar das políticas e planos setoriais, o que não gera grandes alterações no comportamento das emissões ao longo dos últimos anos.

Figura 4 Série histórica (1990 a 2024) das emissões do setor de resíduos.



5.

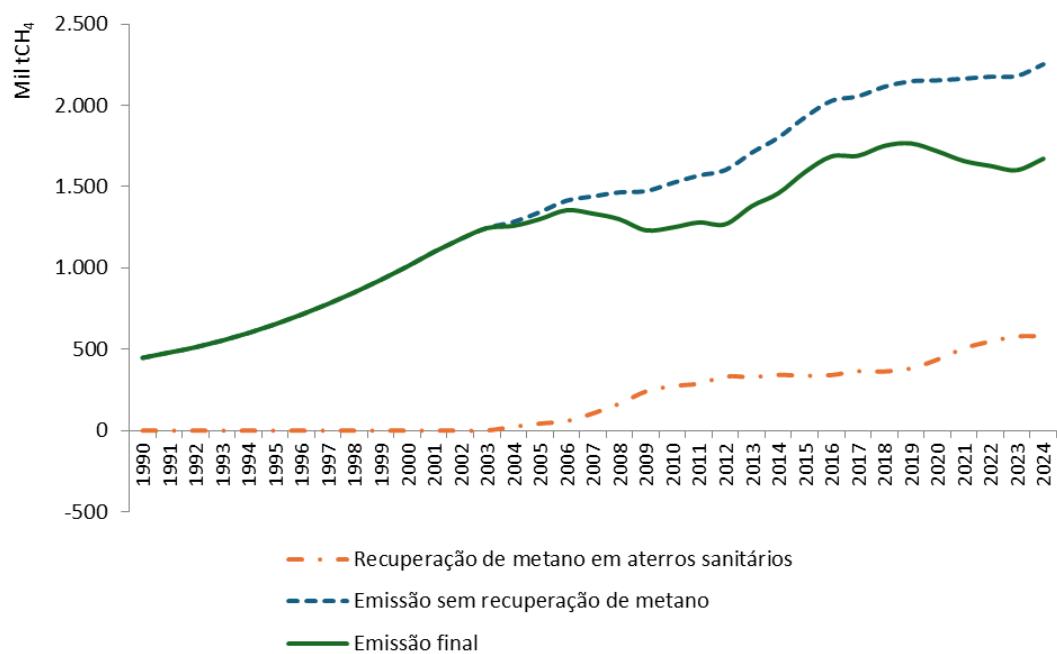
Disposição final de resíduos sólidos

Em 2024, a disposição final de resíduos sólidos foi responsável pela emissão de 63,1 MtCO₂e. Além do crescimento populacional e do aumento na geração de resíduos verificado desde 1970, também se observa uma ampliação do acesso aos serviços de gestão de resíduos sólidos municipais, em especial na taxa de coleta e nos índices de disposição final ambientalmente adequada. As emissões de metano em aterros sanitários representam umas das principais atividades emissoras de gases de efeito estufa em regiões metropolitanas. Desde a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2011, o país passou a avançar, ainda que muito lentamente, na erradicação de lixões. Hoje cerca de 70% dos resíduos são dispostos em aterros sanitários. Isso também significa que a maior parte das emissões do setor estão associadas a essa lógica de tratamento (53% das emissões totais de todo o setor de resíduos). Apesar de a erradicação de lixões ser uma principais medidas para uma gestão apropriada de resíduos sólidos – afinal, seu funcionamento afeta a saúde, o meio ambiente e viola os direitos humanos de milhares de pessoas –, em termos de hierarquia de gestão, medidas como prevenção, minimização, reutilização e reciclagem devem ser priorizadas. No entanto, essas opções ainda não são amplamente disseminadas a nível nacional. De acordo com a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, apenas 3% dos resíduos brasileiros são reciclados.

O aproveitamento energético também aparece como uma medida na priorização da gestão adequada de resíduos sólidos (e também se qualifica como uma importante medida de mitigação) por meio da recuperação de biogás em aterros sanitários, seja por queima em *flare* ou por recuperação energética. Desde 2003 são observadas iniciativas nesse sentido e a quantidade de metano recuperado aumenta de ano a ano. Em 2024,

foram recuperadas 581,2 mil toneladas de CH₄ em 54 aterros sanitários, o que representou um aumento de 0,4% em relação ao ano anterior. A recuperação do biogás é responsável por evitar a emissão de cerca de 20% de todo metano gerado na disposição final.

Figura 5 Emissão de metano pela disposição final considerando a recuperação de biogás em aterros sanitários



Tratamento biológico

Como a quantidade de resíduos encaminhada para o tratamento biológico por meio de compostagem é baixa, as emissões dessa categoria também são menos significativas. Em 2024, o tratamento biológico foi responsável pela emissão de cerca de 27,9 mil tCO₂e, contribuindo com menos de 0,05% do total das emissões do setor de resíduos.

Incineração e queima a céu aberto

Em 2023, a incineração e queima a céu aberto foram responsáveis pela emissão de 1,4 MtCO₂e, mantendo a mesma contribuição em relação a 2023.

A incineração, que no Brasil é utilizada exclusivamente para o tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde, representa uma baixa quantidade relativa de resíduos, logo a sua contribuição nas emissões totais do setor é menos significativa.

Já a queima a céu aberto é uma prática adotada por parte da população que não tem cobertura dos serviços de coleta e tratamento de resíduos. Apesar de a população ter aumentado expressivamente desde 1999, as emissões relacionadas com esse tipo de

prática não estão aumentando de forma significativa, refletindo o fato de que cada vez mais a população brasileira está com mais acesso aos serviços de saneamento.

Efluentes líquidos domésticos

Faltam informações bem consolidadas e atualizadas sobre os tipos de tratamento adotados nas diferentes Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) no país. Apesar disso, estima-se que, em 2024, cerca de 44% das emissões dessa categorias vem de efluentes que são coletados e não tratados e/ou não coletados; 43% de efluentes que são coletados e tratados e; 14% de soluções individuais.

Em 2024, o tratamento e o afastamento de efluentes líquidos foram responsáveis pela emissão de 25,2 MtCO₂e, sendo a segunda categoria que mais contribui para as emissões relacionadas com a gestão de resíduos. A contribuição da categoria permaneceu a mesma que no ano anterior.

As emissões de gases de efeito estufa da fração do efluente que é coletada e tratada são maiores em relação à quantidade de efluentes, por serem adotadas rotas que propiciam a atuação de microrganismos metanogênicos. No entanto, a fração sem coleta e sem tratamento é o segundo maior contribuinte, indicando que, apesar de maiores investimentos e expansão da rede, ainda é necessário avançar bastante para promover a universalização do saneamento básico no Brasil.

Efluentes líquidos industriais

Em 2024, a categoria de efluentes líquidos industriais foi responsável pela emissão de 5,9 MtCO₂e, representando 6,2% das emissões do setor e um aumento de 2,5% em relação a 2022. A produção de leite cru (42%), de carne bovina(19%) e de celulose (17%) são as principais fontes de emissão da categoria. Ademais, a produção de leite pasteurizado foi a única que apresentou queda das suas emissões, em relação a 2023, com uma redução de 11%.

A categoria de efluentes líquidos industriais apresenta um comportamento de emissões distinto do observado para efluentes domésticos, pois as emissões estão diretamente correlacionadas com a produção industrial e não com as taxas de crescimento populacional.

6. Comparação dos resultados do SEEG com o Inventário Nacional

A Tabela 9 apresenta a razão e correlação entre as estimativas de emissões de GEE obtidas no projeto SEEG e resultados apresentados no Quarto Inventário Nacional. As distintas abordagens metodológicas utilizadas para quantificar as emissões podem explicar as diferenças observadas no período de análise. Nesse sentido, nota-se que as maiores diferenças percentuais observadas se referem a análise associada a incineração e queima a céu aberto. Destaca-se ainda que para todas as atividades geradoras de GEE, é possível observar uma forte correlação entre o comportamento das curvas históricas de emissões no período de 1990 a 2016.

Tabela 9 - Comparação dos resultados do SEEG 11 com o Inventário Nacional (MCTI, 2019)

Fontes de emissão de GEE	GEE (Gg)	1990			2016		
		SEEG	MCTI	SEEG/MCTI	SEEG	MCTI	SEEG/MCTI
Disposição de Resíduos sólidos	CH4	447,61	523,3	0,86	2027	1857,5	1,09
	CO2	67	38,3	1,75	127	109	1,17
	N2O	0,2	0	-	0,4	0	0,00
Incineração	CH4	12,45	19,1	0,65	28	23,4	1,20
	N2O	0,02	0,3	0,07	0,065	0,3	0,22
	CO2	289	495	0,58	659,1	395,2	1,67
Queima a céu aberto	CH4	541,4	531,7	1,02	801,4	745,3	1,08
	N2O	4	4,9	0,82	8,2	6,9	1,19
	CO2	61,02	61	1,00	187	209,5	0,89
Efluentes Líquidos Domésticos	CH4	0	1,1	0,00	1,3	1,4	0,93
	N2O	0	0	-	0,1	0,1	1,00
Efluentes Líquidos Industriais	CH4	0	1,1	0,00	1,3	1,4	0,93
	N2O	0	0	-	0,1	0,1	1,00
Tratamento biológico	CH4	0	1,1	0,00	1,3	1,4	0,93
	N2O	0	0	-	0,1	0,1	1,00

7. Bibliografia

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas* / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, 2017.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015*. ABRELPE: [s.l.], 2016.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Estimativas dos custos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo, 2015.

ARAÚJO FILHO, Valdemar F. *O quadro institucional do setor de saneamento básico e a estratégia operacional do PAC: possíveis impactos sobre o perfil dos investimentos e a redução do déficit*. Diretoria de Estudos Regionais e Urbanos do IPEA, 2008. Disponível em:

http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5521/1/BRU_n1_quadro_institucional.pdf

BARKER, T. et al. 2007. *Technical summary*. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [METZ, B.;

DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-ts-1.pdf>

BRASIL. *Decreto nº 6.262, de 21 de novembro de 2007. Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC*. Brasília, DF, dezembro de 2008. Disponível em:

http://www.cidados.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/relatorio_anual_avaliacao_plansab_2014_15122015.pdf

BRASIL(a). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. *Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*.

BRASIL. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos: versão pós audiências e consulta pública para conselhos nacionais*. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, ago. 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab*. Brasília, DF, maio de 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Plansab - relatório de avaliação anual, ano de 2014*. Brasília, DF, dez. 2015.

BRASIL. *Análise situacional do déficit em saneamento básico*. Luiz Roberto Santos Moraes (coord.), Alessandra Gomes Lopes Sampaio Silva, Antônio Alves Dias Neto, Patrícia Campos Borja, Andréa Andrade Prudente, Luciana Santiago Rocha. Brasília: Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2014. 340 p. (*Panorama do Saneamento Básico no Brasil*, v. 2).

BRASIL, MCTI. *Emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos, relatórios de referência: setor de tratamento de resíduos*. 3º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Brasília, DF: MCTI, 2015.

BRASIL, MCTI. *Quarta comunicação nacional e relatórios de atualização bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Relatório de referência. Setor de resíduos. Relatório para consulta pública a especialistas. Versão de dezembro de 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015*. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.

FADE – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. *Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos UFPE, 2014.

- GOUVELLO, C.; ALVES, J. W. S. et al. *Estudo de baixo carbono para o Brasil*. BANCO MUNDIAL, 2010.
- ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. *Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação*. Brasília, 2012.
- ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade; Programa Cidades Sustentáveis. *Guia de ação local pelo clima*. São Paulo, 2016.
- Indústria Brasileira de Árvores – Ibá. Disponível em: <http://iba.org/pt/>
- IPCC. 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (eds.). Published: IGES, Japan. Disponível em: <http://www.ipcc-nrgip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais*. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012a.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos resíduos de serviços de saúde*. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012b.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnósticos de resíduos sólidos industriais*. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos*. Brasília, 2020.
- MADEIRA, Roberto F. *O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para a universalização do acesso*. Revista do BNDS, 2010.
- LIMA, Sonaly C. R. B.; MARQUES, Denise H. F. *Evolução e perspectivas do abastecimento de água e do esgotamento sanitário no Brasil*. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 47).
- LOPES, Luciana. *Gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos: alternativas para pequenos municípios*. São Paulo, 2006. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81.../DISSERTACAO_LUCIANA_LOPES.pdf
- TRATA BRASIL, Instituto. *Relatório – 7 anos de acompanhamento do PAC Saneamento (2009 a 2015)*. Agosto, 2016. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/de-olho-no-pac/2016/relatorio.pdf>
- The World Bank. *What a Waste 2.0 (A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050)*. Disponível em: <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>
- VON SPERLING, Marcos. *Urban wastewater treatment in Brazil*. Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, August, 2016.
- SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. *Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos*.
- IBGE – Censos 1991, 2000 e 2010. Os dados dos censos estão disponíveis em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>
- Pesquisa Pecuária Municipal, disponível no banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação de dados – SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>
- Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Relatório de Referência – Setor Resíduos*. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_4cn_residuos_final_set2020.pdf

