

CAPÍTULO 2

Controle das emissões de GEE nas estações de tratamento de esgotos no Brasil: uma análise das diretrizes nacionais e dos planos de ação climática entre 2009 e 2022

*Fernanda de Marco de Souza
João Vitor Rodrigues de Souza
Marcelo Antunes Nolasco*

RESUMO

Este capítulo tem como objetivo analisar como as legislações nacionais, os relatórios governamentais e os planos municipais de combate às mudanças climáticas abordam o controle das emissões de gases de efeito estufa em estações de tratamento de efluentes domésticos. Para isso, foi realizada uma análise documental, tendo como palavras-chave “resíduo”, “esgoto”, “esgotamento”, “efluente”, “GEE” e “saneamento”, em regulamentações em âmbito nacional e planos das quatro cidades brasileiras que integram a rede *C40 Cities Climate Leadership Group*. Foram elaborados quadros-síntese contendo as metas e as ações propostas para se reduzirem as emissões nas ETE. Em escala nacional, constata-se a falta de diretrizes específicas para a mitigação das emissões nas ETE. Os planos e comunicações nacionais se concentram em estimativas e inventários de GEE, sem proporem medidas diretas para diminuição das emissões

no setor de resíduos e tratamento de esgotos. Por outro lado, em âmbito local, foram observados maiores avanços nos planos das cidades que fazem parte do C40, sobretudo em São Paulo e Curitiba, que estabeleceram ações e metas para reduzir as emissões de GEE durante o processo de tratamento de águas residuárias. É fundamental incluir o setor de saneamento nas diretrizes nacionais, a fim de aumentar a visibilidade do setor no combate às mudanças climáticas. Dessa forma, programas estaduais e municipais podem ser impulsionados, estimulando a implementação de medidas de controle de emissões nas ETE brasileiras.

Palavras-chave: GEE; estações de tratamento de esgoto; mitigação; diretrizes nacionais; C40 cities.

CONTROL OF GHG EMISSIONS IN WWTPS IN BRAZIL: AN ANALYSIS OF NATIONAL GUIDELINES AND CLIMATE ACTION PLANS BETWEEN 2009 AND 2022.

ABSTRACT

This chapter aims to analyze how national legislations, government reports, and municipal plans to combat climate change address the control of greenhouse gas emissions in Wastewater Treatment Plants (WWTP). To achieve this, a documentary analysis was conducted using keywords (wastewater, sewage, effluent, GHG, and sanitation) in national regulations and plans from the four Brazilian cities that are part of the C40 Cities Climate Leadership Group. Synthesis tables were prepared containing goals and proposed actions to reduce emissions in WWTP. At the national level, the lack of specific guidelines for mitigating emissions in WWTP is evident. National plans and communications mainly focus on GHG estimates and inventories, without proposing direct measures to reduce emissions in the waste and sewage treatment sector. On the other hand, at the local level, greater advancements were observed in the plans of cities that are part of the C40, especially in São Paulo and Curitiba, which established actions and goals to reduce GHG emissions during the wastewater treatment process. It is crucial to include the sanitation sector in national guidelines to increase its visibility in the fight against climate change. This way, state and municipal programs can be boosted, encouraging the implementation of emission control measures in Brazilian WWTP.

Keywords: GHG; wastewater treatments plants; mitigation; national guidelines; C40 cities.

2.1 INTRODUÇÃO

As características do esgoto bruto (in natura) variam em função das condições ambientais, sociais e econômicas da região onde a água é utilizada. Apesar de conter apenas cerca de 0,1% de poluente em sua composição, o efluente necessita ser tratado antes do despejo, tanto pelo aspecto legal quanto ambiental (Von Sperling, 2018). O descarte inadequado de compostos orgânicos e nitrogênio em corpos d'água podem provocar um intenso desequilíbrio no ecossistema, redução de oxigênio dissolvido, proliferação de microrganismos e, ainda, afetar a saúde humana (Von Sperling, 2015).

Uma estação de tratamento de esgotos (ETE) consiste em uma combinação de operações e processos unitários, de natureza físico-química e biológica, destinados a produzir um efluente tratado com qualidade especificada a partir de um efluente bruto de composição e vazão conhecidas. Nos processos biológicos, especificamente, os microrganismos transformam os vários compostos presentes nas águas residuárias, na forma sólida ou dissolvida, em compostos simples, como água, dióxido de carbono, metano e sais minerais, reduzindo a carga poluidora das águas residuárias. Diante disso, todo o processo de tratamento de efluentes está relacionado às emissões gasosas – como os chamados gases de efeito estufa (GEE).

Nas ETE, as emissões de GEE podem ser diretas ou indiretas. As emissões indiretas estão associadas à geração de energia elétrica correspondente à energia consumida na ETE, enquanto as diretas se referem aos GEE liberados durante o tratamento de águas, ou seja, ao longo dos processos que compõem as operações unitárias (Chrispim; Scholz; Nolasco, 2021). De modo geral, todas as etapas de tratamento físico-químico e biológico do efluente e da fração sólida produzida (lodo), junto com a combustão do biogás, consistem em fontes locais de emissão de GEE (Chrispim; Scholz; Nolasco, 2020).

Enquanto as contribuições para a geração de dióxido de carbono (CO₂) nas ETE estão relacionadas principalmente à geração de energia para atender às demandas da ETE, as emissões de gás metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) estão associadas aos ciclos de carbono e nitrogênio, respectivamente, por meio das vias biológicas de remoção desses compostos. Exemplos de processos que geram esses gases incluem a digestão anaeróbia da matéria orgânica, por meio da qual o CH₄ é gerado na fase de metanogênese (Cano *et al.*, 2023).

O crescente acúmulo de GEE na atmosfera é uma forçante radiativa positiva, que resulta no aumento médio da temperatura global (Nobre; Reid; Veiga, 2012). Esse aquecimento impacta significativamente os padrões climáticos em todo o mundo, conferindo as mudanças climáticas. Diante de tais alterações no clima, iniciativas como a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o Painel Intergo-

vernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) evidenciam medidas para mitigação e adaptação (Vijayavenkataraman; Iniyar; Goic, 2012).

Em termos nacionais, o Brasil também caminha por meio de regulamentações e acordos para mitigar as emissões de GEE dentre suas atividades. Em 2009, foi criada a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, que em seus instrumentos previstos apresenta o Plano Nacional sobre Mudança do Clima e a Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Brasil, 2009). Tais comunicações são relatos periódicos enviados à UNFCCC com informações sobre a agenda climática do país, que se somam aos Relatórios Bienais (Brasil, 2021a).

A partir da PNMC outros instrumentos também foram criados, incluindo: o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (Brasil, 2016c); o Relatório Final de Monitoramento e Avaliação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – Ciclo 2016-2020 (Brasil, 2021b); e o Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano (Brasil, 2022).

O Brasil também assumiu novos compromissos internacionais a partir do Acordo de Paris em 2015, definindo metas para redução das emissões, conhecidas como Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, sigla em inglês).¹ Nesse contexto, também foram lançadas as “Diretrizes para uma estratégia nacional para neutralidade climática”, com ações para atingimento das metas definidas pela NDC (Ministério do Meio Ambiente, 2022a).

Para além dos acordos internacionais, verifica-se a coordenação de atividades em redes, reunindo grandes cidades pelo mundo. Assim como as NDC – em apoio ao acordo de Paris –, no Brasil, as cidades de Salvador, Rio de Janeiro, Curitiba e São Paulo fazem parte do C40, uma rede global que une esforços e ações para reduzir as emissões e ampliar a ação climática. Para compor a rede, é necessário que se cumpram requisitos de desempenho, dos quais se tem a elaboração e a adoção de um Plano de Ação Climática (C40 Cities, 2023).

É com base nessas ações coordenadas nacional e internacionalmente que se insere o objetivo deste capítulo: analisar como as legislações nacionais, relatórios os governamentais e os planos municipais de combate às mudanças climáticas abordam o controle das emissões de gases de efeito estufa em estações de tratamento de efluentes domésticos.

1 United Nations Framework Convention on Climate Change. The Paris Agreement. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 28 jun. 2023.

2.2 METODOLOGIA

A partir do objetivo destacado, teve-se como plano de pesquisa realizar uma análise documental das legislações, dos programas e das comunicações em âmbito nacional que embasam as legislações estaduais, e dos planos de adaptação climática das cidades brasileiras que compõem o C40, com foco nas menções referentes às emissões no tratamento de esgotos domésticos. Em cada documento, foram buscadas as palavras-chave “resíduo”, “esgoto”, “esgotamento”, “efluente”, “GEE” e “saneamento”.

A avaliação de cada documento foi direcionada para responder à seguinte pergunta central: “O texto menciona de forma clara e direta a redução de GEE em ETE?”. Nos casos afirmativos, foram identificadas e detalhadas as ações e metas propostas. Nos casos negativos ou parciais, foi examinado se o documento abordou de alguma forma o tema das emissões e do tratamento de esgotos, verificando se houve alguma aproximação com essas questões.

A seleção das legislações e dos programas em âmbito nacional se deu a partir da lista de atos normativos vigentes do “Painel de Legislação”,²² disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, com a aplicação do filtro “Clima”. A partir da leitura prévia de cada uma delas, levantaram-se os planos e relatórios subsequentes às referidas legislações.

Considerando o compromisso assumido pelo Brasil junto à UNFCCC, foram selecionados a NDC, o relatório e comunicação nacional mais recentes enviados à Convenção-Quadro.

Para contraponto e complemento ao arcabouço nacional, foram analisados os planos de ação climática municipais das cidades do C40, que, por fazerem parte de uma rede global, têm de cumprir requisitos e metas de redução das emissões nos diferentes setores da cidade, incluindo o setor de resíduos.

Assim, os documentos analisados foram (Quadro 2.1):

Quadro 2.1 Relação de documentos analisados e sua origem ou fonte

Documento	Fonte e/ou origem
Plano Nacional sobre Mudança do Clima (2008)	Instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).
Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (2009)	1ª Lei em âmbito nacional sobre Mudança Climática, oficializa o compromisso com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).
Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – PNA (2016)	Instrumento que surge tendo em vista o disposto pela PNMC.
Relatório Final de Monitoramento e Avaliação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – Ciclo 2016-2020	Relatório referente ao primeiro ciclo de execução do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA).

2 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Legislação. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo>. Acesso em: 25 jun. 2023.

Quadro 2.1 Relação de documentos analisados e sua origem ou fonte

Documento	Fonte e/ou origem
Quarto relatório de atualização biennial do Brasil (2020)	Relatório Bienal mais recente enviado à UNFCCC (compromisso assumido pelo Brasil).
4ª Comunicação Nacional do Brasil a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (2021)	Comunicação mais recente enviada à UNFCCC (compromisso assumido pelo Brasil).
Contribuição Nacionalmente Determinada Brasileira – NDC (2022)	Atualização mais recente submetida à UNFCCC (compromisso assumido pelo Brasil).
Diretrizes para uma estratégia nacional para neutralidade climática (2022)	Documento que surge decorrente da Contribuição Nacionalmente Determinada Brasileira.
Programa Nacional Metano Zero (2022)	Um dos atos normativos mais recentes, disponível no Painel de Legislação do Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática (em âmbito nacional e de redução de emissões de metano).
Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima da cidade de Salvador (2020); Plano de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas de Curitiba (2020); Plano de Ação Climática do Município de São Paulo (2020); e Plano de Desenvolvimento Sustentável e de Ação Climática da cidade do Rio de Janeiro (2021)	Planos de ação climática das quatro cidades brasileiras que compõem o <i>C40 Cities Climate Leadership Group Inc</i>

Fonte: Prefeitura Municipal de Salvador, 2020; Prefeitura Municipal de Curitiba, 2020; Brasil, 2020; Rio de Janeiro, 2021; Prefeitura de São Paulo, 2021; Brasil, 2021a; Brasil, 2021b; Ministério do Meio Ambiente, 2022a; Ministério do Meio Ambiente, 2022b.

Até a publicação deste capítulo, a lista apresentada possui a relação dos documentos mais atualizados. Os quadros-síntese foram elaborados para resumirem os avanços e apontamentos verificados em cada documento.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se aqui, de maneira cronológica, os objetivos gerais dos instrumentos, programas e legislações e suas relações com as emissões de GEE em ETE, em âmbito nacional e de planos de mitigação das cidades do C40.

2.3.1 Âmbito Nacional

Plano Nacional sobre Mudança do Clima

Publicado em 2008, teve como objetivo ser um marco para a integração e a elaboração dos esforços de políticas públicas em contribuição à redução das emissões de GEE. Organizou as ações em andamento e oportunidades, estimando ser um plano dinâmico e em constante atualização. O Plano ressalta resultados do primeiro Inventário Nacional de emissões de GEE (submetido em 2004 à UNFCCC, com o ano base de 1994). Desde esse primeiro inventário, já se tinham as estimativas de 803 mil toneladas de metano e 12 mil toneladas de óxido nitroso para o setor de “lixo e esgoto” (Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008).

Dentro do setor de tratamento de resíduos, estimou-se que 16% das emissões de metano eram decorrentes do tratamento de esgotos (e as demais emissões, relativas à disposição dos resíduos sólidos). Por sua vez, no que se refere ao óxido nitroso, tem-se disposto que as emissões ocorrem durante o processo de tratamento de esgoto. Não se têm menções ao dióxido de carbono no setor doméstico (Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008). Com base nisso, é possível observar que, desde a elaboração desse primeiro Plano, já se tinham claras as contribuições das ETE nas emissões de GEE – sobretudo do óxido nitroso com a indicação direta de sua emissão durante o processo de tratamento.

No mais, o tratamento de efluentes é colocado como um possível setor para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, instrumento econômico para promoção de projetos de redução de emissões; bem como uma possibilidade de ser fonte de energia renovável, não convencional, para expansão da oferta de energia elétrica (Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008).

Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC

Pública e em vigor desde 29 de dezembro de 2009, a PNMC visa a compatibilizar desenvolvimento com a proteção do sistema climático; reduzir as emissões de GEE nas diferentes fontes; fortalecer de sumidouros de GEE; promover a adaptação climática; preservar, conservar e recuperar os recursos ambientais; consolidar e expandir áreas protegidas e o reflorestamento; e estimular o desenvolvimento do mercado brasileiro de redução de emissões (Brasil, 2009). Contudo, a Lei não faz menção direta ao setor de saneamento básico e/ou tratamento de resíduos e esgotos.

Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) foi oficialmente instituído em 2016, com vistas a enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, garantir a resiliência nacional aos seus impactos e orientar as ações e políticas necessárias para a adaptação às mudanças climáticas no Brasil. Um aspecto importante do Plano é a sua interface com as emissões de GEE, pautado em ações de adaptação e mitigação (Brasil, 2016a).

O Plano reconhece a interconexão entre os esforços de adaptação e mitigação e enfatiza a necessidade de uma abordagem holística para lidar com as mudanças climáticas. Dentre as diretrizes prioritárias para promover a adaptação no escopo de cidades, tem-se “apoiar a implementação e melhorias dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário” (p. 79), com destaque para os consequentes descontaminação, facilitação dos usos múltiplos da água e estímulo à eficiência

energética (a partir do biogás) (Brasil, 2016b), mas sem citar a redução das emissões durante o processo de tratamento.

Relatório Final de Monitoramento e Avaliação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – Ciclo 2016-2020

O documento apresenta resultados do primeiro ciclo do PNA, a partir de onze estratégias setoriais. Dentre os setores, não se tem um específico para o setor de resíduos, de maneira que “cidades” e “recursos hídricos” são os dois com maior proximidade ao tema. Entre as diretrizes de “cidades”, tem-se o apoio à implementação e melhorias no sistema de esgotamento sanitário, estimulando o uso do biogás advindo do tratamento de esgotos (Brasil, 2021b).

Os investimentos em coleta e tratamento de esgotos se dão especialmente no contexto de redução da escassez hídrica (recursos hídricos). O aumento de investimento em tratamento de efluentes também é uma diretriz prevista. Dentre as ações e iniciativas realizadas, cita-se um valor de investimento em empreendimentos de esgotamento, mas sem maiores detalhamentos (Brasil, 2021b). Não há menção à redução das emissões.

Quarto Relatório de Atualização Bienal do Brasil

Publicado em 2020, apresenta o inventário nacional de emissões por setores, incluindo o tratamento de resíduos com um panorama de estimativas para os efluentes domésticos de 1994 a 2016, com destaque para o óxido nitroso e o metano. O Relatório cita o Setor de Resíduos dentre aqueles que precisam de atividades de fomento à pesquisa e desenvolvimento tecnológico; aprimoramento do sistema de monitoramento e reporte de emissões; e fortalecimento por meio de capacitação e informações via modelagem – climática e econômica (Brasil, 2020).

Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

A Quarta Comunicação é o mais recente relatório enviado à UNFCCC. Apresenta estimativas de emissões para o setor de Resíduos, que se divide em: disposição de resíduos sólidos; tratamento biológico de resíduos; incineração e queima a céu aberto de resíduos; e tratamento e despejo de águas residuárias, com base na metodologia do IPCC. O subdepartamento de tratamento e despejo de águas residuárias foi responsável por cerca de 40% das emissões do setor em CO₂ equivalente (Brasil, 2021a, p. 173).

Outras estimativas foram apresentadas para o metano e o óxido nitroso (de 1990 a 2016) no tratamento de efluentes. As emissões foram agregadas em um único gráfico, com a estimativa em dióxido de carbono equivalente (CO₂e): 21.397 toneladas, com

um aumento de 4,6% se comparado aos resultados de 2010 (último ano apresentado à Terceira Comunicação) (Brasil, 2021a).

O tratamento de resíduos entra como uma das fontes nacionais do metano (porém, com destaque para a disposição de resíduos sólidos como a atividade mais contribuinte para as emissões). Já para o óxido nitroso, tem-se a menção ao tratamento de efluentes domésticos como uma das fontes nacionais (em conjunto com os fertilizantes sintéticos, queima de combustíveis fósseis/biomassa, processos industriais e mudanças de uso e cobertura do solo) (Brasil, 2021a). Não se tem menção de medidas em andamento para mitigação das emissões nesse subsetor.

As demais citações ao saneamento e ao esgoto se dão com relação à segurança hídrica (inclusive sobre a universalização do saneamento básico como uma das ações relevantes para a adaptação climática). As remoções de GEE foram contabilizadas apenas para o setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas, como resultado dos estoques de carbono (Brasil, 2021a).

Contribuição Nacionalmente Determinada Brasileira

A NDC, atualizada e apresentada em março de 2022, prevê a redução da emissão de GEE em 37% até 2025 e redução em 50% até 2030 (se comparadas a 2005), bem como neutralidade climática até 2050 (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022). A neutralidade climática pode ser classificada como emissões líquidas nulas de GEE, considerando os sumidouros de carbono e a redução das emissões (Capros *et al.*, 2019). No documento, tem-se que as metas serão consistentes aos setores dos Inventários Nacionais (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022), de maneira que se pressupõem medidas para o setor de resíduos, mas sem menção direta no texto. A NDC cita condições adequadas de saneamento e subsistência como um dos esforços de implementação nacional (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022), mas sem ênfase na coleta e tratamento de esgotos.

Além disso, é válido ressaltar que a atualização da NDC não avançou com relação à primeira NDC de 2016; pelo contrário: ao considerar maiores níveis absolutos de emissão em 2005 (ano base para as projeções de redução), permitiu também um maior teto de emissões para 2025 e 2030, retrocedendo ao compromisso firmado anteriormente e não aumentando a ambição climática do Brasil (Borges; Prolo; La Rovere, 2021; Unterstell; Martins, 2022). Assim, não se tem o cumprimento do que é previsto pelo Acordo de Paris em seu Artigo 4, de que “a contribuição nacionalmente determinada sucessiva de cada Parte representará uma progressão em relação à contribuição nacionalmente determinada então vigente [...]” (United Nations Fra-

mework Convention on Climate Change, 2015), o que reflete direta e indiretamente no controle de emissões de GEE em ETE.

Diretrizes para Uma Estratégia Nacional para Neutralidade Climática

Publicado em 2022, é um documento curto (com 14 páginas) sob o contexto da NDC e da neutralidade climática. Dentre as diretrizes e ações indicadas, não se tem menção direta ao tratamento de efluentes (o setor de resíduos se restringe aos resíduos sólidos, com meta de encerramento de lixões e recuperação de resíduos/aproveitamento de materiais) (Ministério do Meio Ambiente, 2022a). Quando se trata de saneamento, cita-se o Marco Legal do Saneamento e a meta de universalização, com indicação de alto impacto na redução das emissões de GEE (Ministério do Meio Ambiente, 2022a). No mais, se tem a apresentação do potencial de produção do biogás no setor.

Programa Nacional Metano Zero

Lançado em 2022, o programa tem foco nos resíduos sólidos, no biogás e no biometano, juntamente aos seus potenciais energéticos e como combustíveis. A única menção aos efluentes é no que se refere a: “no Brasil, o maior potencial de biogás e biometano vem dos resíduos sólidos urbanos, agrícolas e efluentes (esgotos)” (Ministério do Meio Ambiente, 2022b, p. 5). No entanto, as ETE não são citadas em específico como possíveis locais para aproveitamento do biogás e consequente redução das emissões de metano.

Dessa forma, o Quadro 2.2 resume os principais avanços e pontos (existentes ou inexistentes) com relação às emissões de GEE em ETE nos documentos analisados.

Quadro 2.2 Síntese de leis, programas e planos e suas relações com as emissões em ETE em nível nacional

Ano	Lei/Programa/Plano	Menção ao setor de saneamento e tratamento de esgotos na redução das emissões
2008	Plano Nacional sobre Mudança do Clima	Apresenta a estimativa de emissões de metano e óxido nitroso no setor de lixo e esgoto para o ano base de 1994. Menciona o tratamento de esgotos como fonte de emissões de GEE (com destaque para o metano e o óxido nitroso).
2009	Política Nacional sobre Mudança do Clima (NMC)	Não faz menção direta.
2016	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima	Restringe-se à reprodução de dados oriundos de modelos produzidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Não há sistematização da informação em nível nacional nem menção direta à redução das emissões.
2021	Relatório Final de Monitoramento e Avaliação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – Ciclo 2016-2020	Não faz menção direta. Cita o aproveitamento do biogás advindo do tratamento de esgotos, mas não aponta sobre a redução de emissões.

Quadro 2.2 Síntese de leis, programas e planos e suas relações com as emissões em ETE em nível nacional

Ano	Lei/Programa/Plano	Menção ao setor de saneamento e tratamento de esgotos na redução das emissões
2020	Quarto relatório de atualização bienal do Brasil	Apresenta as estimativas de emissões para o metano e óxido nitroso no tratamento de efluentes domésticos (1994-2016). Também inclui atividades de fomento para o setor de resíduos, no qual é citado o monitoramento e reporte de emissões.
2021	Quarta Comunicação Nacional do Brasil a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima	Apresenta estimativas de emissão em dióxido de carbono equivalente para o Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (1990-2016). O tratamento de resíduos entra como uma das fontes do metano, e o tratamento de efluentes domésticos, como uma das fontes do óxido nitroso. Não se citam as medidas de mitigação em andamento, e o setor não está presente dentro do âmbito de remoção de GEE.
2022	Contribuição Nacionalmente Determinada Brasileira	Não faz menção direta. Cita condições adequadas de saneamento como parte dos esforços de implementação da NDC. Apresenta um retrocesso na ambição climática se comparada à NDC de 2016.
2022	Diretrizes para uma estratégia nacional para neutralidade climática	Não há diretrizes específicas para o tratamento de efluentes. Quando se trata de saneamento, a universalização é dada como uma meta que tem alto impacto na redução das emissões de GEE.
2022	Programa Metano Zero (Portaria MMA nº 71/2022)	Não cita ações, atividades ou metas diretamente relacionadas às ETE.

Fonte: C40 Cities, 2023.

2.3.2 Planos de mitigação das cidades brasileiras que compõem o C40

Para além do âmbito nacional, localmente, as cidades brasileiras de Salvador, Rio de Janeiro, Curitiba e São Paulo são aquelas que compõem a rede global C40 Cities Climate Leadership Group. A seguir, tem-se a relação dos Planos de Mitigação e Adaptação elaborados por cada uma delas e suas relações com GEE em ETE.

Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima (PMAMC) da cidade de Salvador

Em 2015, a cidade de Salvador começou a integrar o C40, e, em 2020, construiu seu primeiro plano climático, abordando políticas e ações que vêm sendo adotadas desde então. O Plano contém o inventário de emissões de GEE da cidade, de maneira que o setor de resíduos contribuiu com 12,6% do total (entre os anos de 2014 e 2018), dos quais 6% correspondem ao tratamento de efluentes sanitários (Prefeitura Municipal de Salvador, 2020).

No eixo estratégico de esgotamento sanitário, pretende-se expandir a rede de saneamento (com destaque para a redução da proliferação de doenças, mas sem menção direta à redução das emissões). No que tange às metas de mitigação e adaptação, prevê-se a universalização dos serviços de água e esgoto (até 2049), bem como a neutralidade de emissões em relação a 2018 (Prefeitura Municipal de Salvador,

2020), de maneira que o quanto é emitido seja igual ou menor ao que é absorvido pelos sumidouros de carbono.

Uma das ações de longo prazo é fortalecer a gestão de recursos hídricos e o tratamento de efluentes (com foco na disponibilidade hídrica em períodos de seca, combate às perdas, estímulo ao reuso e expansão da captação). Por sua vez, dentre as barreiras para implementação de ações para a mitigação de GEE em Salvador, tem-se apontado que compete ao estado o tratamento de efluentes, limitando as ações do município. Soma-se a isso o baixo conhecimento sobre aproveitamento do biogás em ETE, destacando-se o reduzido compartilhamento de informações e experiências (Prefeitura Municipal de Salvador, 2020). Não se têm menções diretas à redução das emissões de GEE durante o tratamento de esgotos.

Plano de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas de Curitiba

Em 2018, Curitiba firmou compromisso para a elaboração do planejamento de ação climática. O Plano foi publicado em 2020 e objetivou a orientação da ação municipal, dos setores produtivos e da sociedade (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2020).

Considerando-se o inventário de emissões da cidade, o tratamento de efluentes contribuiu com 271.204 tCO₂e (ficando atrás somente do subsetor de transporte e edificações residenciais). Dentre as premissas para os cenários de redução das emissões de GEE, destaca-se a “ampliação de medidas para redução de GEE em Estações de Tratamento de Efluentes” (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2020, p. 50). A modelagem considerou que, na data limite 2050, reduzirão até 73% do total de emissões, se comparadas ao ano de 2016 (considera-se que todo o efluente gerado será tratado por lodos ativados). Além disso, sugere-se uma maior eficiência energética durante o processo, com o uso do biogás e substituição por tecnologias de baixo carbono (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2020).

No plano, foram listadas ações para se alcançar a neutralidade de emissões até 2050, com a priorização de 20 ações dentre 120, originalmente. No conjunto das ações priorizadas, tem-se a de “implantar medidas para a redução de Gases de Efeito Estufa em Estações de Tratamento de Efluentes” (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2020, p. 91), O que ressalta o compromisso do município em reduzir as emissões em suas ETE.

Plano de Ação Climática do Município de São Paulo (PlanClima SP)

O Plano de Ação Climática do Município de São Paulo é uma importante iniciativa voltada para o enfrentamento das mudanças climáticas no nível local e para a promoção de práticas de desenvolvimento sustentável. Esse plano traça estratégias, ações e metas para reduzir as emissões de GEE e construir resiliência aos impactos das mudanças climáticas na cidade. Dentro desse escopo, o plano estabelece metas

específicas e descreve medidas para reduzir as emissões de GEE em vários setores da cidade (Prefeitura de São Paulo, 2021).

No que se refere às informações apresentadas, é possível observar que o setor de resíduos – incluindo sólidos e líquidos no documento – responde por cerca de 8% de todas as emissões de GEE no acumulado de 2010 a 2017 (Prefeitura de São Paulo, 2021). Destaca-se, entretanto, que, dentro das emissões provocadas pelos resíduos, a geração a partir do tratamento de esgoto apresenta uma diminuição considerável, passando de 512 mil para 481 tCO₂ para o mesmo período mencionado.

O plano prevê como ação, no prazo de 2021-2024, “a realização de reporte periódico de dados de operação e de monitoramento de atividades geradoras de gases de efeito estufa, especialmente em relação a esgoto, pela concessionária dos serviços de água e esgoto” (Prefeitura de São Paulo, 2021, p. 178).

Nos objetivos específicos de mitigação, tem-se elencado: “reduzir os fatores de emissão de GEE dos processos do sistema de coleta e tratamento de esgotos” (Prefeitura de São Paulo, 2021, p. 179). Assim, tem-se como meta, até 2030, ampliar o monitoramento e redução dos fatores de emissão nas ETE (Prefeitura de São Paulo, 2021), evidenciando o compromisso do município em mensurar, comunicar e reduzir as emissões nas estações.

Somado a isso, ressalta-se que o município vem adotando medidas com intuito de fortalecer o pacto federativo diante dessa temática. O município possui legislações ambientais específicas relacionadas ao tratamento de esgoto e à mitigação das emissões de GEE. O Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo (Prefeitura de São Paulo, 2010) estabelece diretrizes para o tratamento de esgoto, incluindo metas de redução de poluentes e emissões de GEE. Adicionalmente, a companhia de saneamento da cidade de São Paulo tem investido em tecnologias para o tratamento do biogás gerado nas ETE. Por meio de sistemas de captura e purificação do biogás, São Paulo tem conseguido reduzir as emissões de metano e, ao mesmo tempo, gerar energia limpa e renovável (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2022).

Plano de Desenvolvimento Sustentável e de Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro

O Plano da Cidade do Rio de Janeiro é um documento estratégico que tem como objetivo orientar as políticas públicas e as ações da cidade para alcançar um desenvolvimento sustentável e enfrentar os desafios relacionados às mudanças climáticas (Rio de Janeiro, 2021).

O Plano foi elaborado pela prefeitura em parceria com diversos atores sociais, incluindo órgãos governamentais, organizações da sociedade civil, instituições acadêmicas e setor empresarial. Seu processo de construção envolveu consultas públicas,

debates e análises técnicas, com o objetivo de garantir a participação e o envolvimento dos diversos segmentos da sociedade. Até este presente estudo, foram publicadas duas edições do Plano de Desenvolvimento Sustentável e de Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro. A primeira edição foi lançada em 2018, e a segunda edição, em 2021. Essas edições refletem a evolução das discussões e das políticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável e às mudanças climáticas (Rio de Janeiro, 2021). Para fins de avaliação prevista na metodologia, foi avaliada a versão do Plano de 2021.

No que diz respeito às emissões de GEE, o inventário de emissões-base da cidade totaliza 11,3 milhões de toneladas de carbono equivalente – dos quais cerca de 28,5% têm como fonte geradora resíduos. Especificamente no que se refere ao esgotamento sanitário, o Plano prevê uma expansão do acesso aos serviços de esgotamento no município e, por consequência, uma redução de 30,5 mil tCO₂ até o ano de 2030. Cabe salientar que, como estratégia para se alcançarem e reduzirem as emissões de GEE, o Plano indica como alternativa o uso de tecnologias menos emissoras, mencionando, como exemplo, o sistema de tratamento aeróbio (Rio de Janeiro, 2021).

Aqui, ressalta-se que, embora os processos aeróbicos sejam eficazes na obtenção de altas taxas de remoção de matéria orgânica, eles podem contribuir para as emissões de gases de efeito estufa, principalmente na forma de CO₂ da oxidação do carbono orgânico. A natureza intensiva de energia da aeração, que fornece o oxigênio necessário, também pode levar a emissões indiretas de GEE associadas ao consumo de eletricidade da planta (Schaubroeck *et al.*, 2015). Soma-se também que a geração de óxido nitroso em ETE ocorre principalmente na etapa aerada (Ahn *et al.*, 2010; Massara *et al.*, 2017).

Por outro lado, as estações anaeróbicas de tratamento de águas residuárias operam na ausência de oxigênio. Os processos anaeróbios têm a vantagem de produzir biogás, que contém metano e, quando armazenado e purificado, pode ser utilizado como fonte de energia renovável. O CH₄ é um GEE, mas capturá-lo como biogás pode reduzir significativamente suas emissões e fornecer uma opção de recuperação de energia. No entanto, é importante observar que os processos anaeróbios ainda podem resultar em algumas emissões de metano e outros gases residuais durante a digestão incompleta ou de emissões fugitivas (Chrispim; Scholz; Nolasco, 2021).

Portanto, o Quadro 2.3 reúne os principais pontos verificados nos planos municipais de mitigação e adaptação das cidades brasileiras que compõem o C40.

Quadro 2.3 Síntese dos planos municipais e sua relação com as emissões em ETE

Ano	Plano	Menção ao setor de saneamento e tratamento de esgotos na redução das emissões
2020	Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima (PMAMC) da cidade de Salvador	Não faz menção direta à redução das emissões em ETE. Apresenta uma estimativa de emissões no tratamento de efluentes sanitários (em porcentagem) e aponta a barreira no aproveitamento do biogás em ETE devido à falta de conhecimento na região. Possui maior foco na disponibilidade hídrica/escassez hídrica.
2020	Plano de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas de Curitiba (PlanClima)	Faz menção direta a medidas para redução de GEE em ETE, incluindo-a como uma das metas prioritárias para o município. A adoção do sistema de lodos ativados, somado a uma maior eficiência energética (que envolve uso do biogás e adoção de tecnologias de baixo carbono) é citada para se alcançar tal redução.
2021	Plano de Ação Climática do Município de São Paulo (PlanClima SP)	Apresenta um histórico de emissões relacionadas ao setor de resíduos (sólido e líquido). Possui como ação proposta um reporte periódico de dados de operação e de monitoramento de GEE em relação ao esgoto. Também faz menção direta ao objetivo de reduzir os fatores de emissão e pretende, até 2030, ampliar o monitoramento e a redução das emissões em ETE que prestam serviços ao município.
2021	Plano de Desenvolvimento Sustentável e de Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro (PDS)	O plano prevê um potencial de redução de 30,5 mil tCO ₂ até 2030 a partir da expansão da taxa de cobertura da coleta com tratamento de esgotos. Por sua vez, não faz menção direta a metas em ETE, apenas considera o uso de tecnologias aeróbias para redução das emissões.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ausência de menções específicas ao tratamento de esgoto nos planos e diretrizes em âmbito nacional é uma oportunidade perdida de mitigar as emissões de GEE no setor de resíduos, que contribui com cerca de 4,5% das emissões totais em CO₂ e no Brasil (Brasil, 2020). Apesar de os planos e comunicações nacionais estimarem as emissões a partir do tratamento de águas residuárias, não se têm diretrizes e metas diretas para a redução das emissões nas ETE.

Levar em consideração a relevância do tratamento de esgoto no contexto das mudanças climáticas é fundamental para o cumprimento dos compromissos internacionais da legislação nacional. O Brasil deu passos significativos na promulgação de regulamentações ambientais e na participação em acordos internacionais que visam a reduzir as emissões de GEE. Ao reconhecerem o papel do tratamento de esgoto nesses esforços, os formuladores de políticas podem aumentar a eficácia dos regulamentos e acordos existentes. A inclusão de metas e estratégias específicas relacionadas ao tratamento de esgoto na legislação nacional pode garantir que esse setor receba a atenção que merece no combate às mudanças climáticas, além de estimular o surgimento de outras regulamentações e programas nos âmbitos estadual e municipais.

Do ponto de vista local, mesmo com a ausência de diretrizes nacionais, os planos de adaptação e mitigação das cidades brasileiras que compõem o C40 apresentaram maiores avanços no que tange à consideração das ETE como fontes significativas de GEE. Das quatro cidades, São Paulo e Curitiba, respectivamente, destacaram-se com

a previsão de ações e metas para a redução das emissões de GEE; seguidas por Rio de Janeiro – com foco no aumento da cobertura de coleta e tratamento – e Salvador, que destinou maior atenção à disponibilidade/escassez hídrica.

São Paulo e Curitiba têm estabelecido diretrizes e investimentos em tecnologias mais eficientes e sustentáveis nas ETE, visando à redução das emissões durante o tratamento de esgotos. Além disso, essas cidades têm promovido o reaproveitamento de subprodutos do tratamento de esgoto, como o lodo, para a geração de energia ou como insumo em agricultura, reduzindo, assim, o impacto ambiental das ETE. Rio de Janeiro e Salvador também têm avançado em projetos de tratamento de esgoto, mas com foco na expansão da rede coletora e universalização dos serviços de água e esgoto. Esses esforços demonstram o comprometimento das cidades brasileiras do C40 em contribuir para a mitigação das mudanças climáticas por meio de ações concretas nas ETE.

Ao integrarem essas medidas dos planos de ação climática, as cidades brasileiras podem adotar uma abordagem mais abrangente, promovendo a inovação e o compartilhamento de boas práticas no setor de resíduos e tratamento de efluentes. Por sua vez, os planos, leis e diretrizes nacionais são fundamentais para a inserção e consolidação do controle de emissões de GEE em ETE como uma estratégia na agenda climática brasileira.

Ainda, sugere-se que pesquisas futuras sejam realizadas verificando como os estados e agências ambientais tratam as questões de emissões em ETE, tanto do ponto de vista de regulamentações quanto de planos climáticos, de maneira a somar ao que foi elaborado no presente capítulo que possui recorte em nível nacional e nas cidades do C40.

REFERÊNCIAS

- AHN, J. H. *et al.* N₂O emissions from activated sludge processes, 2008-2009: Results of a national monitoring survey in the United States. *Environmental Science and Technology*, [S. l.], v. 44, n. 12, p. 4505-11, 2010.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, ano 146, n. 248, 29 dez. 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 20 jun. 2023.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. *Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*/ Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021a.

- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. *Quarto Relatório de Atualização Bienal do Brasil: à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima*. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: estratégia Geral*. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. Brasília, DF: MMA, 2016a. v. 1.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: estratégias setoriais e temáticas*. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. Brasília, DF: MMA, 2016b. v. 2.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Clima e Relações Internacionais. Portaria nº 150 de 10 de maio de 2016. Institui o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, seção 1. Brasília, DF: MMA, 2016c.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Clima e Relações Internacionais. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Relatório final de monitoramento e avaliação, ciclo 2016-2020*. Brasília, DF: MMA, 2021b.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Clima e Relações Internacionais. Portaria MMA nº 71, de 21 de março de 2022. Institui o Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano – Metano Zero. *Diário Oficial da União*, Brasília, seção 1, Brasília, DF, 22 mar. 2022.
- C40 CITIES. *About C40 Cities*. 2023. Disponível em: <https://www.c40.org/about-c40/>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- CANO, V. *et al.* Comparative assessment of energy generation from ammonia oxidation by different functional bacterial communities. *Science of the Total Environment*, v. 1, n. 1, p. 100310, 2023.
- CAPROS, P. *et al.* Energy-system modeling of the EU strategy towards climate-neutrality. *Energy Policy*, [S. l.], v. 134, p. 110960, 2019.
- CHRISPIM, M. C.; SCHOLZ, M.; NOLASCO, M. A. A framework for resource recovery from wastewater treatment plants in megacities of developing countries. *Environmental Research*, [S. l.], v. 188, p. 109745, set. 2020.
- CHRISPIM, M. C.; SCHOLZ, M.; NOLASCO, M. A. Biogas recovery for sustainable cities: a critical review of enhancement techniques and key local conditions for implementation. *Sustainable Cities and Society*, [S. l.], v. 72, p. 103033, set. 2021.
- COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)*. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008. Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima-brasil-pnmc.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). *Relatório de Sustentabilidade*. 2022. São Paulo. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios_sustentabilidade/Sabesp_Relatorio_Sustentabilidade_2022.pdf. Acesso em: 4 set. 2023.
- MASSARA, T. M. *et al.* A review on nitrous oxide (N₂O) emissions during biological nutrient removal from municipal wastewater and sludge reject water. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 596-597, p. 106-23, 2017.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Diretrizes para uma estratégia nacional para neutralidade climática*. Brasília, DF: MMA, 2022a.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Programa Nacional Metano Zero*. Brasília, DF: MMA, 2022b.
- INSTITUTO CLIMA E SOCIEDADE (Org.). *Análise científica e jurídica da nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira ao Acordo de Paris*. Rio de Janeiro, 2021.
- NOBRE, C.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. *Fundamentos científicos das mudanças climáticas*. São José dos Campos: Rede Clima/INPE, 2012.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *Plano Municipal de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Curitiba*. 2020.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR. *Plano de Mitigação e Adaptação para Mudança Clima de Salvador*. 2020. Disponível em: <http://www.prodeturssa.salvador.ba.gov.br/images/prodeturssa/documentos/PMAMC.pdf>. Acesso 22 jun. 2023.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *PlanClima SP: Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050*. São Paulo, 2021.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Plano Municipal de Saneamento Básico*. v. 1. 2010. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/habitacao/arquivos/PMSB_Volume_I.pdf. Acesso em: 4 set. 2023.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. *Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2021.
- SCHAUBROECK, T. *et al.* Environmental sustainability of an energy self-sufficient sewage treatment plant: Improvements through DEMON and co-digestion. *Water Research*, v. 74, p. 166-79, 2015.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *Nationally Determined Contributions Registry*. 2015a. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2015b. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 4 set. 2023.

- UNTERSTELL, N.; MARTINS, N. *NDC do Brasil: Avaliação da atualização submetida à UNFCCC em 2022*. Nota Técnica. Rio de Janeiro: Talanoa, 2022.
- VIJAYAVENKATARAMAN, S.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 878-97, 2012.
- VON SPERLING, M. Basic principles of wastewater. In: *Biological wastewater treatment serie*. v. 2. Londres: IWA Publishing, 2018.
- VON SPERLING, M. *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. v. 6. Londres: IWA Publishing, 2015.

