

VI-809 - PERSPECTIVAS SOBRE A MENSURAÇÃO E REPORTE DE EMISSÕES DE GEE NO SETOR DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTOS - DESAFIOS NA APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DO IPCC E DA UNFCCC

Bruno Eduardo dos Santos Silva ⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com período sanduíche pela Universidade de Melbourne (UoM). Engenheiro Sanitarista da Rotária do Brasil.

Carolina Bayer Gomes Cabral ⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC). Doutoranda em Engenharia Sanitária pela Universidade Técnica de Berlin (TU Berlin). Sócia da Rotária do Brasil.

Sebastian Rosenfeldt ⁽¹⁾

Engenheiro de Processos Ambientais pela Universidade de Ciências Aplicadas de Berlim (HTW Berlin). Doutorando em Engenharia Sanitária pela Universidade Técnica de Berlin (TU Berlin). Sócio da Rotária do Brasil.

Christoph Platzer ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Técnica de Munique (TUM). Doutor em Engenharia Sanitária pela Universidade Técnica de Berlim (TU Berlin). Sócio-diretor da Rotária do Brasil.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Teodoro Manoel Dias, 421 – Santo Antônio de Lisboa - Florianópolis - SC - CEP: 88050-540 - Brasil - Tel: (48) 3234-3164 - e-mail: bruno.silva@rotaria.net

RESUMO

A partir de 2024, os países parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) serão obrigados a relatar seus inventários nacionais de gases do efeito estufa (GEE) a cada dois anos, possibilitando que haja um acompanhamento internacional sobre as reduções necessárias para atingir as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) estabelecidas no âmbito do Acordo de Paris. Nesse contexto, é necessário que todos os setores da economia, inclusive o setor de água e tratamento de esgotos, calculem, relatem e verifiquem suas emissões. No entanto, o setor de água e tratamento de esgotos enfrenta dificuldades em se estabelecer como parte dos mecanismos institucionais nacionais e em calcular suas emissões com base nas diretrizes definidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). Este estudo investigou a situação atual do setor em oito casos, com relação a esses dois aspectos, e identificou os principais desafios. Com relação aos mecanismos institucionais, o maior desafio é estabelecer sistemas integrados que relacionem os dados obtidos setorialmente com a entidade nacional responsável pela submissão dos inventários. Em relação às metodologias de mensuração de emissões, há dificuldade em estabelecer padrões de cálculo, mesmo com as diretrizes do IPCC. Alguns pontos que poderiam facilitar o processo foram identificados, como a definição, pela instituição nacional, dos fatores de emissão a serem utilizados pelo setor e a adoção da versão de 2019 das diretrizes do IPCC como referência para os cálculos do setor.

PALAVRAS-CHAVE: gases do efeito estufa, inventários de GEE, GEE no saneamento, cálculo de emissões, saneamento.

INTRODUÇÃO

A criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) foi motivada pela necessidade de estabilizar a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Com o objetivo de enfrentar as mudanças climáticas em nível global, a UNFCCC estabelece obrigações para que os países membros reportem suas emissões de GEE. No âmbito do Protocolo de Quioto (1997), esses países foram divididos em dois grupos: Partes Anexo I, que incluem os países considerados mais desenvolvidos e industrializados na época da assinatura do protocolo; e Partes Não-Anexo I, que incluem os países em desenvolvimento, além daqueles que na época possuíam grande dependência econômica da produção de combustíveis fósseis, e, portanto, seriam mais impactados pelas medidas de resposta às mudanças climáticas.

Após a Conferência das Partes (COP) 21 em 2015, o Protocolo de Quioto passou a ser complementado pelo Acordo de Paris, que estabeleceu o mecanismo de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). As NDCs são compromissos assumidos por cada país para reduzir suas emissões de GEE. A estratégia das NDCs inclui a Estrutura de Transparência Aprimorada (ETF), que institui um novo ciclo de obrigações de reporte a serem seguidas pelos países a partir de 2024. A ETF equipara as obrigações de entrega de informações por parte dos países Partes Anexo I e Partes Não-Anexo I, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Obrigações de reporte definidas pela UNFCCC no âmbito do Protocolo de Quioto, e após as definições do Acordo de Paris.

PRODUTO A SER ENTREGUE À UNFCCC	PARTES ANEXO I		PARTES NÃO-ANEXO I	
	ATÉ 2024	A PARTIR 2024	ATÉ 2024	A PARTIR 2024
Comunicação Nacional (NC): submetida para reportar o inventário de emissões de GEE do país; programas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas; e lacunas relacionadas à capacidade financeira e técnica para aplicar medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.	A cada 4 anos	A cada 4 anos	A cada 4 anos	A cada 4 anos
Relatório de Transparência Bienal (BTR): submetido para reportar as reduções nas emissões de GEE do país; o progresso com relação à NDC estabelecida; andamentos sobre suporte financeiro e técnico recebido ou fornecido para outros países.	BR a cada 2 anos	A cada 2 anos	BUR a cada 2 anos	A cada 2 anos
No âmbito do Acordo de Paris, o BTR substitui os antigos Relatórios Bienais (BR) dos países Parte Anexo I, e os Relatórios de Atualização Bienal (BUR) dos países Parte Não-Anexo I.				
Inventário de Reporte Nacional (NIR): submetido individualmente ou como um capítulo de uma BTR ou NC, incluindo as metodologias e dados utilizados para seu preparo.	A cada ano	A cada ano	A cada 4 anos, parte da NC	A cada 2 anos
Contribuição Nacionalmente Determinada (NDCs): submetida a cada ciclo de cinco anos, sendo os países encorajados a aumentar suas ambições a cada ciclo.	-	A cada 5 anos	-	A cada 5 anos

Dentre as mudanças que serão implementadas a partir de 2024, um dos maiores desafios para países como o Brasil (Parte Não-Anexo I) será a necessidade de submeter inventários a cada dois anos, calculando a totalidade de suas emissões por setores da economia, além das reduções de emissões em relação a um ano-base, com o objetivo de comprovar o caminho percorrido até a NDC. Entre as macro áreas da economia reportadas separadamente no NIR, está a área de Resíduos, que abrange o setor de água e tratamento de esgotos, cujas atividades contribuem para a geração de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (IPCC, 2019). Para atender a essas necessidades, as diretrizes da UNFCCC estabelecem uma série de exigências operacionais, destacando-se os "Mecanismos Institucionais de Reporte" e as "Metodologias de Mensuração de GEE".

Os Mecanismos Institucionais de Reporte são instrumentos estabelecidos internamente pelos países para garantir a consistência e confiabilidade exigidas pela UNFCCC na elaboração e reporte do NIR. Mecanismos eficientes auxiliam os países a atingir suas NDCs, habilitam o acesso a programas de suporte econômico internacionais e fornecem dados úteis para a elaboração de políticas internas. Esses instrumentos podem incluir legislações, diretrizes, arranjos institucionais, ferramentas de cálculo e sistemas de gestão integrada que realizem a comunicação entre dados setoriais, como do setor de água e tratamento esgotos, e a entidade nacional responsável pela entrega do NIR.

Já as Metodologias de Mensuração de GEE dizem respeito a como serão feitas as estimativas de emissões de cada setor da economia do país, ou seja, quais considerações devem ser realizadas e quais equações devem ser utilizadas para cada caso. Esses procedimentos devem seguir as orientações estabelecidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que é uma instituição parceira da UNFCCC. O IPCC fornece instruções específicas para o setor de saneamento nos Volumes 2 (Energia) e 5 (Resíduos) das

“Diretrizes para Elaboração de Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa”, cuja versão completa mais recente foi elaborada em 2006 (IPCC, 2006) e complementada/modificada em 2019 (IPCC, 2019).

Devido à grande quantidade de especificações, muitas vezes generalistas, dadas pela UNFCCC e pelo IPCC para o cálculo e reporte das emissões do setor de água e tratamento de esgotos, os grupos e instituições inventariantes têm encontrado dificuldade em estabelecer procedimentos padronizados. Por este motivo, o projeto WaCCliM (*Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation*), implementado pela Agência de Cooperação Alemã (GIZ) em cooperação com a Associação Internacional da Água (IWA), iniciou estudos sobre de que forma as instruções estão sendo seguidas pelo setor e quais as dificuldades em comum a nível internacional.

Este artigo organiza e apresenta os avanços desses estudos, analisando, portanto, como as diretrizes da UNFCCC sobre Mecanismos Institucionais e as orientações do IPCC sobre Mensuração de GEE têm sido incorporadas pelo setor de água e tratamento de esgotos.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é analisar como as diretrizes do IPCC e da UNFCCC têm sido incorporadas na mensuração e reporte de emissões de GEE do setor de água e tratamento de esgotos.

Para responder a sua questão, o objetivo principal se desdobra em dois objetivos específicos: o primeiro relacionado a entender quais os mecanismos institucionais utilizados por cada país no processo de reporte de suas emissões, e onde se encaixa o setor de água e tratamento de esgotos; e o segundo referente a como as emissões são calculadas pelos inventariantes do setor, sejam eles empresas de saneamento ou gestores nacionais.

Apesar do foco em inventários nacionais, para o segundo objetivo específico também serão analisados casos de nível corporativo (Caso ID 4 – Tabela 2), ou seja, quando as empresas de saneamento calculam suas próprias emissões, mas não as enviam para compor o inventário nacional. Estes casos foram julgados relevantes pelos autores deste artigo, pois o mecanismo estabelecido poderá futuramente ser adaptado para compor o NIR.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho é a de levantamento de casos reais sobre como o setor de água e tratamento de esgotos tem sido incorporado na elaboração de inventários nacionais sob duas perspectivas: (I) Mecanismos institucionais, ou seja, de que forma essas emissões chegam ao NIR; (II) Metodologias de Mensuração de GEE, ou seja, como o setor utiliza os guias do IPCC.

Não há atualmente literatura que compile estas questões especificamente para esse setor. Por este motivo, foram analisados oito casos provenientes de cinco países diferentes, incluindo os Parte Não-Anexo I e os Parte Anexo I, para que houvesse uma referência de que como países desenvolvidos superaram os desafios que serão enfrentados pelos países em desenvolvimento (Tabela 2). Os casos foram estudados a partir da análise dos NIRs, BCs, BRs e BURs já produzidos pelos países e submetidos à UNFCCC, além de entrevistas com alguns *stakeholders* do setor.

Tabela 2: Descrição dos casos analisados neste estudo e referências utilizadas.

ID	PAÍS	DESCRIÇÃO E REFERÊNCIAS UTILIZADAS
1		Análise do sistema oficial australiano de reporte de emissões (<i>NGER</i>), que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo híbrido <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> .
	Austrália	O sistema é gerido pelo Departamento de Indústria, Ciência, Energia e Recursos (<i>DISER</i>), responsável pelo controle de qualidade do inventário nacional, planejamento, preparação de relatórios e envio de relatórios para a UNFCCC; e pelos Reguladores de Energia Limpa (<i>CER</i>), responsáveis pela gestão do processo de entrada de dados das empresas na ferramenta nacional de gestão de dados, incluindo verificação e auditoria de dados.

ID	PAÍS	DESCRIÇÃO E REFERÊNCIAS UTILIZADAS
2		Referência: NIR e BR.
		Análise do sistema oficial brasileiro de reporte de emissões, SIRENE , que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo <i>top-down</i> . O sistema é gerido pela Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade (CGCL) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), responsável por estabelecer grupos setoriais para os cálculos relacionados ao inventário nacional a cada ciclo de entregas à UNFCCC; e pelo Ministério de Relações Exteriores, que submete os relatórios à entidade internacional.
3	Brasil	Referência: BUR e NC.
		Análise do sistema oficial brasileiro de acompanhamento de reduções de emissões, SINARE , que inclui o setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo ainda a ser definido (legislação em aberto). Esse sistema foi estabelecido recentemente por decreto, mas ainda não possui instrumentos ou diretrizes específicas. Possui um foco na gestão de redução de emissões referentes à NDC brasileira, e há expectativa de que seja integrado ao SIRENE.
4		Referência: Decreto Federal 11.075/22 (BRASIL, 2022).
		Análise do sistema corporativo GHG Protocol Brasileiro , que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo <i>bottom-up</i> . Esse não é um sistema oficial do país, e possui um foco corporativo. Apesar disso, possui a maior base de inventários do setor de água e tratamentos de esgotos do Brasil, e, portanto, foi julgado como relevante pelos autores deste artigo. Há expectativa e movimentação política para que seja interligado ao SIRENE e SINARE em algum momento.
5	Alemanha	Referência: Diretrizes do GHG Protocol e entrevista com <i>stakeholders</i> .
		Análise do sistema oficial alemão de reporte de emissões, NaSE , que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo <i>top-down</i> . O sistema é gerido pela Agência Ambiental Alemã (UBA), responsável pelo planejamento, preparação e gestão de inventários, além do controle de qualidade e garantia para todas as etapas importantes do processo; e pelos ministérios referentes a cada setor da economia, que complementam informações faltantes dos inventários setoriais.
6	Jordânia	Referência: NIR, BR, e entrevista com <i>stakeholders</i> .
		Análise do sistema oficial jordano de reporte de emissões, que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo <i>top-down</i> . O sistema é gerido pela Diretoria de Mudanças Climáticas, que atua como centro institucional de coordenação de todas as atividades relacionadas às mudanças climáticas na Jordânia em relação à UNFCCC. Para a gestão técnica do processo, participam diversas entidades, como o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério da Tecnologia da Informação e Comunicação, o Ministério de Energia, e a Sociedade Científica Real.
		Referência: NC, BUR, e entrevista com <i>stakeholders</i> .

ID	PAÍS	DESCRIÇÃO E REFERÊNCIAS UTILIZADAS
7		Análise do sistema oficial peruano de reporte de emissões, INFOCARBONO, que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo <i>top-down</i>. O sistema é gerido pelo Ministério do Meio Ambiente (MINAM), que fornece orientação a cada entidade competente para a preparação de seus respectivos Relatórios Anuais de Gases de Efeito Estufa (<i>RAGEI</i>), por meio de guias.
8	Peru	Referência: NIR, BUR, NC. Análise do sistema oficial peruano de acompanhamento de reduções de emissões, RENAMI, que contabiliza as emissões do setor de água e tratamento de esgotos a partir de modelo <i>bottom-up</i>. O RENAMI complementa o sistema INFOCARBONO, possuindo um foco específico na redução de emissões setoriais rumo à NDC peruana. Cada Ministério gere as emissões declarados dentro do seu próprio âmbito, estando o Ministério da Habitação, Construção e Saneamento (MVCS) responsável pelas emissões do setor de água e tratamento de esgotos. Referência: BUR e entrevista com stakeholders. <i>Top-down:</i> o cálculo de emissões do setor de água e tratamento de esgotos é realizado pela entidade nacional que elabora o NIR. <i>Bottom-up:</i> o cálculo de emissões do setor de água e tratamento de esgotos é realizado pelas companhias ou por entidades setoriais, que encaminham seus resultados à entidade nacional que elabora o NIR.
Legenda		
Obs.: NIR, BUR, BR e NC são documentos oficiais da UNFCCC, e que podem ser acessados no site da instituição: https://unfccc.int/		

Para cada um dos casos descritos foi dada atenção especial com relação aos seguintes elementos:

- **(I) Mecanismos institucionais:** funcionamento do sistema de reporte; tipo de abordagem (*top-down* ou *bottom-up*); base legal; responsabilidades institucionais; ferramentas utilizadas.
- **(II) Metodologias de Mensuração de GEE:** quais emissões são consideradas pelos inventariantes quando em comparação às indicações do IPCC; qual a versão do IPCC utilizada como referência para os cálculos; qual potencial de aquecimento global é adotado; quais abordagens são realizadas para a coleta de dados de atividades e determinação de fatores de emissão.

Para todos os elementos buscou-se analisar qual o mecanismo adotado atualmente pelas instituições inventariantes, quais as condições habilitantes, e quais os desafios e demandas identificados. A partir dessas informações, teceram-se as primeiras recomendações para que o setor de água e tratamento de esgotos passe a ser incorporado nos mecanismos institucionais dos inventários nacionais e passe a mensurar suas emissões de GEE de forma mais padronizada.

RESULTADOS OBTIDOS

LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMOS INSTITUCIONAIS

Como resultado do levantamento, são apresentados os mecanismos institucionais identificados na Tabela 3 e Tabela 4.

A Tabela 3 apresenta uma avaliação sobre o estabelecimento de sistemas integrados de medição, reporte e verificação (MRV), o tipo de abordagem adotada por cada sistema e se as responsabilidades institucionais estão claramente definidas. Um sistema nacional de MRV é composto por organizações, requisitos, processos, ferramentas e capacidades que facilitam o inventário a nível nacional. Esse sistema é considerado integrado

quando funciona de maneira robusta em diversos níveis, compartilhando informações entre entidades nacionais e setoriais. Um sistema nacional integrado não só comunica as emissões e reduções de gases de efeito estufa de forma transparente, mas também fornece *feedback* aos stakeholders, contribuindo com dados para a tomada de decisões internas e elaboração de políticas nacionais, construção de capacidades, fortalecimento de transparência, boa governança e credibilidade da ação pública, envolvimento do setor privado, e melhoria do acesso ao financiamento internacional de medidas de mitigação de GEE (DE LA TORRE, 2018).

Tabela 3: Resumo sobre os mecanismos institucionais utilizados para reportar emissões – Parte I.

ID DO CASO	HÁ UM SISTEMA INTEGRADO ESTABELECIDO PARA ELABORAÇÃO DOS INVENTÁRIOS?			TIPO DE ABORDAGEM PARA EMISSÕES DO SETOR DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTOS		AS RESPONSABILIDADES INSTITUCIONAIS SÃO BEM DEFINIDAS?		
	SIM	PARCIALMENTE INTEGRADO	NÃO	TOP-DOWN	BOTTOM-UP	SIM	PARCIALMENTE	NÃO
Caso 1 Austrália	X			X	X	X		
Caso 2 Brasil		X		X			X	
Caso 3 Brasil			X	Não está em prática.				X
Caso 4 Brasil	X				X		X	
Caso 5 Alemanha	X			X		X		
Caso 6 Jordânia		X		X		X		
Caso 7 Peru		X		X		X		
Caso 8 Peru	X				X	X		

Ao estabelecer um sistema nacional, um país pode adotar duas abordagens distintas de inventariação: *top-down* e *bottom-up*. A abordagem *top-down* significa que uma instituição governamental calcula todas as emissões do país a partir de dados setoriais e estatísticas agregadas. Um exemplo é o sistema brasileiro SIRENE (Caso 2), onde as companhias de saneamento não são obrigadas a reportar suas emissões. Nesse sistema, a preparação do inventário setorial fica a cargo de um agente nacional, a Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade (CGCL), que utiliza estatísticas para os cálculos de GEE. Para o setor de água e tratamento de esgotos, a instituição governamental pode usar dados estatísticos sobre a quantidade de DBO tratada nos municípios e multiplicá-los por um fator de emissão nacional. Várias instituições, agências e ministérios podem estar envolvidos nesse processo. Essa abordagem geralmente adota uma estratégia simplificadora.

A abordagem *bottom-up*, por outro lado, ocorre quando as empresas calculam suas próprias emissões e as relatam a nível nacional, juntamente com seus dados de atividade. A instituição governamental a nível nacional é responsável por unir as emissões setoriais em um relatório nacional. Várias instituições, agências e ministérios podem estar envolvidos nesse processo. Esse tipo de abordagem geralmente é mais metodologicamente preciso do que a abordagem *top-down*, mas as incertezas estarão associadas ao processo de cálculo individual de cada organização, ou seja, um nível muito mais elevado de controle de qualidade é necessário. No caso 8 (RENAMI, Peru), as empresas do setor de água e tratamento de esgotos calculam suas próprias emissões e registram em um

aplicativo chamado SIGASS. Com essas informações, são gerados dados organizados sobre as emissões GEE e medidas de mitigação setoriais relacionadas à NDC.

Uma prática adotada por alguns países tem sido realizar uma abordagem conjunta *top-down* e *bottom-up*. Nesse modelo, os inventários das organizações são usados a nível nacional, e eventuais lacunas identificadas são preenchidas com o modelo *top-down*. Na Austrália, por exemplo, é disponibilizado anualmente uma calculadora simplificada para verificar se a empresa de saneamento se enquadra nas condições para reporte de emissões (a partir de uma quantidade mínima de kg CO₂ equivalente, e de energia consumida). Para aquelas que não se enquadram, o sistema nacional NGER realiza cálculos adicionais com base em dados das agências reguladoras, do *Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences* (ABARES), e do *Australian Bureau of Statistics* (ABS).

Adicionalmente ao tipo de abordagem e suas responsabilidades institucionais, a Tabela 4 avalia os aspectos legais e técnicos dos sistemas nacionais.

Tabela 4: Resumo sobre os mecanismos institucionais utilizados para reportar emissões – Parte II.

ID DO CASO	BASE LEGAL			FERRAMENTAS PARA USO DO SETOR DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTOS		
	LEGISLAÇÃO FEDERAL	ACORDOS INSTITUCIONAIS	NORMATIVAS	GESTÃO DE DADOS	CÁLCULO DE EMISSÕES	CONTROLE DE QUALIDADE
Caso 1 Austrália	X		X	X	X	X
Caso 2 Brasil	X			X		
Caso 3 Brasil	X			Ainda não há ferramentas associadas.		
Caso 4 Brasil		X		X	X	
Caso 5 Alemanha	X	X	X	X	X	X
Caso 6 Jordânia	X			X	X	
Caso 7 Peru	X			X	X	
Caso 8 Peru	X		X	X	X	X

Do ponto de vista legal, foi verificado se o sistema é estabelecido por uma legislação federal, por acordos institucionais e/ou por normativas específicas. Na Alemanha, por exemplo, o sistema NaSE encontrou, no passado, dificuldades de funcionabilidade pela inexistência de legislações específicas, o que motivou o estabelecimento de uma base legal sólida, e que serve de referência para todos os *stakeholders* envolvidos no processo. A legislação nacional costuma ser o ponto de partida para o estabelecimento de um bom sistema, mas os acordos institucionais são necessários para estabelecer as responsabilidades dos atores do setor de água e tratamento de esgotos, ao passo que as normativas trazem especificações referentes ao cálculo das emissões.

O fornecimento de ferramentas específicas para gestão de dados, cálculo das emissões, e controle de qualidade de dados de atividade do setor de água e tratamento de esgotos também foi avaliado, pois evita que haja múltiplas interpretações sobre as diretrizes da UNFCCC e do IPCC, além de garantir a qualidade do processo de inventariação como um todo (Tabela 5). No levantamento de dados e entrevistas realizadas, notou-se que os países em desenvolvimento ainda carecem de sistemas de controle de qualidade.

Com relação às ferramentas para cálculo de emissões, a ferramenta ECAM (*Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring*) foi identificada como a mais promissora, pois foi desenvolvida especificamente para cálculos do setor de água e tratamento de esgotos.

Tabela 5: Ferramentas específicas utilizadas para inventariar as emissões do setor.

ID DO CASO	FERRAMENTAS PARA USO DO SETOR DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTOS		
	GESTÃO DE DADOS	CÁLCULO DE EMISSÕES	CONTROLE DE QUALIDADE
Caso 1 Austrália	<i>Emissions and Energy Reporting System (EERS)</i>	<i>CER Calculator</i>	<i>Australian Greenhouse Emissions Information System (AGEIS)</i>
Caso 2 Brasil	Base de dados do SIRENE	-	-
Caso 3 Brasil	-	-	-
Caso 4 Brasil	Registro Público de Emissões	GHG Protocol Brasileiro	-
Caso 5 Alemanha	<i>Central System on Emissions (CSE)</i>	<i>Central System on Emissions (CSE)</i>	<i>Central System on Emissions (CSE)</i>
Caso 6 Jordânia	<i>National multi-level integrated MRV system</i>	<i>IPCC Inventory Software</i>	-
Caso 7 Peru	Base de dados do INFOCARBONO	<i>IPCC Inventory Software</i>	-
Caso 8 Peru	SIGASS	ECAM	SIGASS

LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE MENSURAÇÃO DE GEE

As metodologias de mensuração de GEE foram o segundo aspecto analisado sobre os casos, e dizem respeito à existência de métodos específicos para calcular as emissões do setor de água e tratamento de esgotos. Nesse sentido, os primeiros fatores avaliados foram as referências utilizadas pelas ferramentas (Tabela 6) ou métodos avulsos empregados pelos inventariantes. A Tabela 6 resume essa avaliação.

Tabela 6: Metodologias de mensuração de GEE utilizadas pelo setor de água e tratamento de esgotos.

ID DO CASO	REFERÊNCIA METODOLÓGICA			REFERÊNCIA DE POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL		CONSIDERA TODAS AS EMISSÕES DO IPCC 2019?		
	IPCC 2006	IPCC 2019	ISO 14064	IPCC	OUTRO	SIM	PARCIALMENTE	NÃO
Caso 1 Austrália	X			X			X	
Caso 2 Brasil	X			X			X	
Caso 3 Brasil	Este sistema ainda está em vias de elaboração, e por isso o preenchimento desta tabela por completo não se aplica.							
Caso 4 Brasil	X		X	X			X	
Caso 5 Alemanha	X			X			X	
Caso 6 Jordânia		X		X			X	
Caso 7	X			X			X	

ID DO CASO	REFERÊNCIA METODOLÓGICA			REFERÊNCIA DE POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL		CONSIDERA TODAS AS EMISSÕES DO IPCC 2019?		
	IPCC 2006	IPCC 2019	ISO 14064	IPCC	OUTRO	SIM	PARCIALMENTE	NÃO
Peru								
Caso 8		X		X		X		
Peru								

Apesar das diretrizes do IPCC de 2019 serem a versão mais recente, e, portanto, cobrir estudos e metodologias mais atualizados, ainda existe certa resistência em utilizá-las no setor de água e tratamento de esgotos. Entre as razões levantadas nos estudos de caso deste documento estão:

- A versão de 2019 não é oficialmente exigida como referência metodológica. Sob o Acordo de Paris, a UNFCCC exige até o momento apenas o uso da versão de 2006. Como resultado, existem poucos materiais e cursos de capacitação voltados para a aplicação da versão de 2019.
- Migrar da versão de 2006 para a versão de 2019 significa, no âmbito das NDCs, recalcular algumas das emissões do país a partir de sua linha de base. Isso é um desafio técnico para alguns dos países estudados, especialmente quando não há uma memória institucional adequada e gestão do conhecimento.
- Há uma certa dificuldade técnica em usar as versões de 2006 e 2019 juntas, o que é exigido uma vez que a versão de 2019 é apenas um complemento. Não é tão claro para as partes entrevistadas quando se deve usar uma ou outra. Neste sentido, seria apropriado que as atualizações das Diretrizes do IPCC substituam a versão anterior, com as modificações necessárias sendo feitas.

Uma vez que o IPCC é a referência oficial da UNFCCC sobre métodos nacionais para estimativa de GHG, esperava-se que esta fosse a principal referência metodológica utilizada pelos inventariantes. No entanto, é unânime entre os casos pesquisados neste documento que existem lacunas em relação aos detalhes e orientações necessárias para relatar, principalmente, as emissões referentes ao tratamento de esgotos. Por esta razão, são necessárias referências adicionais para seus inventários. Entre as lacunas mais citadas estão, principalmente:

- A generalização para os fatores de emissão sugeridos, que não levam em consideração as características do esgoto local, tampouco as questões operacionais e estruturais de cada tecnologia de tratamento de esgotos.
- A inexistência de fatores de emissão para tecnologias de tratamento mais modernas. Em entrevista, um dos *stakeholders* sugeriu que nacionalmente deveria ser implementada normativa que obrigasse os fabricantes de tecnologias a fornecerem seus fatores de emissão padrão juntamente aos demais dados técnicos.
- A dificuldade em calcular emissões provenientes de arranjos tecnológicos, ou seja, de sistemas de tratamento de esgotos compostos por mais de uma tecnologia em sequência.

Ainda com relação aos fatores de emissão para o tratamento de esgotos, levantou-se de que forma são obtidos os dados de atividade (DA) e os fatores de emissão (FE) utilizados nas fórmulas do IPCC (Tabela 7).

Tabela 7: Complexidade metodológica para obtenção de dados para cálculo das emissões no tratamento de esgotos.

ID DO CASO	NÍVEL DE COMPLEXIDADE DO MÉTODO (TIER) PARA OBTENÇÃO DE DADOS DE ATIVIDADE (DA) E DEFINIÇÃO DE FATORES DE EMISSÃO (FE)					
	CH ₄ DE ETES		N ₂ O DE ETES		N ₂ O DE EFLUENTE TRATADO	
	DA	FE	DA	FE	DA	FE
Caso 1						
Austrália	2 e 3	2 e 3	2 e 3	1	2	1

NÍVEL DE COMPLEXIDADE DO MÉTODO (TIER) PARA OBTENÇÃO DE DADOS DE ATIVIDADE (DA) E DEFINIÇÃO DE FATORES DE EMISSÃO (FE)						
ID DO CASO	CH ₄ DE ETES		N ₂ O DE ETES		N ₂ O DE EFLUENTE TRATADO	
	DA	FE	DA	FE	DA	FE
Caso 2 Brasil	2	1	2	1	1	1
Caso 3 Brasil	Este sistema ainda está em vias de elaboração, e por isso o preenchimento desta tabela por completo não se aplica.					
Caso 4 Brasil	Não há padronização entre as entidades do setor que reportam emissões através deste sistema.					
Caso 5 Alemanha	2	2 e 3	2	1	1 e 2	1
Caso 6 Jordânia	Os documentos oficiais deste sistema não fornecem informações metodológicas detalhadas.					
Caso 7 Peru	2	1	2	1	1	1

Os dados de atividade referem-se a informações relacionadas à magnitude de atividades humanas que resultam em emissões ou remoções durante um determinado período, como a carga orgânica afluente em uma estação de tratamento de esgoto (ETE). Por outro lado, os fatores de emissão são coeficientes que quantificam as emissões ou remoções por unidade de dados de atividade, como a quantidade de metano emitida pela quantidade de carga de DBO descarregada em ambientes aquáticos (kgCH₄/kgDBO₅).

O setor de tratamento de esgoto possui diferentes abordagens de nível (*Tier*) para coletar seus dados de atividade e determinar seus fatores de emissão. Em relação aos dados de atividade, o *Tier 1* utiliza valores generalistas tabulados ou literários, ou estimativas para os principais dados no cálculo de uma emissão, como calcular cargas de DBO e nitrogênio afluente multiplicando a produção per capita desses parâmetros (a partir da literatura) pela população atendida pela ETE. O *Tier 2* utiliza estimativas com base em dados oficiais em nível nacional, como calcular cargas de DBO e nitrogênio afluente multiplicando a produção per capita desses parâmetros (a partir de dados oficiais nacionais) pela população atendida pela ETE. Já o *Tier 3* utiliza valores específicos locais como dados principais para calcular uma emissão, como usar as médias de monitoramento da própria ETE como informações sobre cargas de DBO e nitrogênio afluente.

Em relação à determinação de fatores de emissão, o *Tier 1* utiliza fatores internacionais prontamente disponíveis, como os fornecidos pelo IPCC. O *Tier 2* utiliza fatores calculados em nível nacional, utilizando metodologias padronizadas como o MCF (*Methane Correction Factor*) ou outras bem fundamentadas. O *Tier 3* utiliza fatores calculados com base em dados de emissões medidas nas instalações.

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

MECANISMOS INSTITUCIONAIS

A partir do levantamento realizado sobre Mecanismos Institucionais, elencaram-se recomendações para um processo de inventário nacional que incorpore de maneira eficiente as emissões do setor de água e tratamento de esgotos (Tabela 8).

Tabela 8: Requerimentos e recomendações para os Mecanismos Institucionais.

ÁREA DE AÇÃO	REQUERIMENTOS / DESAFIOS	RECOMENDAÇÕES / CONDIÇÕES HABILITANTES
Institucional	Garantir arranjos institucionais eficazes, definindo processos,	Atribuir de maneira clara as responsabilidades institucionais para que todos os <i>stakeholders</i>

ÁREA DE AÇÃO	REQUERIMENTOS / DESAFIOS	RECOMENDAÇÕES / CONDIÇÕES HABILITANTES
	mecanismos, pontos focais e responsabilidades.	estejam cientes de seu papel no processo de inventário nacional. Devem estar bem determinadas as responsabilidades do ponto focal nacional, mas também das instituições e equipes envolvidas no nível do setor de saneamento. Criar mecanismos legislativos internos que estabeleçam os dados necessários, quem os deve fornecer e quem é o responsável pela sua gestão.
Técnica	- Disponibilidade e qualidade de dados e informações. - Uso de metodologias e fatores de emissão apropriados. - Ferramentas disponíveis para coleta de dados e emissões, estimativa de emissões e gerenciamento de inventário.	- Ter recomendação oficial de ferramenta e/ou método para cálculo de emissões, considerando metodologias consistentes e adequadas. - Estabelecer rotinas nacionais de controle de qualidade, garantindo a confiabilidade dos dados das atividades e das emissões calculadas. - No caso de abordagens <i>top-down</i>, todas as emissões relacionadas ao consumo de energia elétrica são relatadas no macro setor econômico de energia. Se o país estabelecer uma abordagem <i>bottom-up</i>, deve ficar claro se as empresas do setor de água e tratamento de esgotos devem relatar suas emissões de energia ou não. No caso dos Inventários Nacionais, entende-se que não há necessidade, pois as emissões seriam duplicadas. Já no caso do acompanhamento das reduções de GEE sob medidas de mitigação, este relato é valioso para avaliar internamente as medidas associadas à eficiência energética.
Desenvolvimento de capacidades	Desenvolvimento e retenção de capacidades	- Institucionalizar o relato de GEE, tornando-o um processo nacional contínuo. Alguns dos casos analisados criam projetos temporários para preparar seus inventários, que podem não ser sustentáveis ao longo prazo. - Realizar programas de treinamento em todos os níveis, nacional, subnacional e setorial, com foco na coleta e gestão de dados e métodos de estimativa.
Questões transversais	- Gestão do conhecimento (institucional e técnico). - Gestão de prioridades, considerando os recursos limitados das empresas de saneamento. - Inclusão das características específicas do setor.	- Estabelecer um processo claro e eficiente de compartilhamento de dados e informações entre as entidades. - Estabelecer uma cultura de feedback, para que o próprio setor de saneamento também receba dados úteis do nível nacional. - Desenvolver um sistema integrado de gerenciamento de dados que gerencie os processos de coleta, entrada, armazenamento e compartilhamento; bem como uma plataforma técnica para facilitar essas tarefas. - Fomentar uma plataforma/canal de comunicação para troca de experiências com outros países, atividades de pesquisa e dados úteis para o setor de saneamento.

ÁREA DE AÇÃO	REQUERIMENTOS / DESAFIOS	RECOMENDAÇÕES / CONDIÇÕES HABILITANTES
		• Estabelecer um sistema que seja ajustável às características do setor de forma gradual, incluindo requisitos diferenciados para grandes concessionárias e pequenas concessionárias. • Incluir indicadores aplicáveis ao setor, que considerem a necessidade de avanços na cobertura de serviços de água e esgotos ¹. • Num contexto de escassez de recursos, um fundo específico para promover o apoio financeiro à mensuração e reporte possibilitaria que mais concessionárias fornecessem dados precisos.

¹ O principal objetivo das concessionárias de água e esgoto é fornecer acesso à água tratada e garantir a coleta/tratamento adequado das águas residuais. Em muitos países, a cobertura do serviço ainda enfrenta desafios para atingir a universalidade. Assim, se o sistema de relatório de emissões não incluir indicadores específicos (por exemplo, CO₂-eq por população atendida), as emissões totais serão maiores pelo simples fato de que mais pessoas estão sendo atendidas com serviços adequados.

METODOLOGIAS DE MENSURAÇÃO DE GEE

Avaliando-se mais a fundo os casos apresentados, detalham-se as seguintes colocações sobre as metodologias de mensuração de GEE aplicadas pelos inventariantes:

- A abordagem *top-down* não reporta emissões relacionadas ao consumo de energia (da rede e de combustíveis) e à disposição de lodos fora das ETEs. O IPCC indica que as emissões de tratamento de lodo na ETE sejam incluídas.
- A maioria dos casos utiliza as Diretrizes do IPCC de 2006 diretamente ou indiretamente (através do GHG protocol, por exemplo). Estas diretrizes apresentam alguns problemas metodológicos que já foram reconhecidos e corrigidos na versão do IPCC 2019. Aqueles que causam maior impacto na elaboração dos inventários são:
 - O aumento nos fatores de emissão sugeridos para a geração de metano em ETEs, que agora incorporam novos estudos e passam a considerar que tecnologias aeróbias também produzem metano a partir do *stripping* de metano dissolvido.
 - As diversas mudanças no cálculo de emissões de óxido nitroso, seja nas equações ou nos fatores de emissão atualizados.
- Alguns dos casos estudados contornam as questões metodológicas das Diretrizes do IPCC 2006 com equações próprias, o que demonstra positivamente o empoderamento sobre o tema. No entanto, deve-se ter cautela nesse procedimento, principalmente quando se sobrepõe a questões já resolvidas pelo IPCC de 2019.
- Entre as expectativas do setor de água e esgoto quanto às limitações nas diretrizes nacionais para cálculo de emissões, a mais citada é a falta de indicações sobre quais fatores de emissão utilizar. Portanto, recomenda-se que os sistemas nacionais para NIR definam muito bem esses valores ou em qual metodologia eles devem se basear.
- Definir corretamente qual nível abordagem usar para coletar dados de atividade e definir fatores de emissão é de grande importância. Há uma forte tendência do setor em buscar a utilização do *Tier 3*, fazendo medições no local. No entanto, observou-se que em alguns desses casos as medições foram extremamente pontuais e simples e, portanto, com alto índice de erros. Recomenda-se que a definição de qual nível utilizar sempre considere também as incertezas e erros associados a este procedimento. Em alguns casos, pode ser interessante usar dados nacionais ou da literatura bem fundamentados, em vez de usar dados próprios coletados em níveis muito altos de incerteza.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A UNFCCC estabelece que a mensuração e reporte de emissões do setor de água e tratamento de esgotos devem ser incluídos nos inventários nacionais como parte da macro área de Resíduos. O Acordo de Paris exige que esses processos sejam transparentes, precisos, completos, consistentes e comparáveis, para o qual é necessário contar com mecanismos institucionais bem estabelecidos e metodologias padronizadas de mensuração de GEE. Com esse objetivo, este estudo analisou oito casos de mensuração e reporte de emissões do setor a nível nacional.

Com relação aos mecanismos institucionais, constatou-se que os países desenvolvidos já possuem processos integrados e um sistema de ferramentas interligadas que calculam e arquivam dados de emissões e realizam procedimentos de controle de qualidade. Por outro lado, os países em desenvolvimento ainda não possuem sistemas com funções e responsabilidades bem definidas, sendo este um aspecto que precisa ser aprimorado. Além disso, os países desenvolvidos enfrentam o desafio de integrar suas ferramentas de cálculo e gestão de emissões de GEE, visando à padronização de parâmetros e à gestão de conhecimento.

No que se refere às metodologias de mensuração de GEE, as dificuldades encontradas parecem ser comuns tanto aos países desenvolvidos quanto aos em desenvolvimento. Existe a dificuldade de estabelecer metodologias adequadas para o cálculo de emissões de óxido nitroso em ETEs, que já foi parcialmente solucionada na versão de 2019 das Diretrizes do IPCC, mas agora precisa ser incorporada pelas instituições executoras dos inventários. Além disso, é importante ressaltar que a definição de fatores de emissão nacionalizados é uma demanda prioritária para os países em desenvolvimento para os próximos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AUSTRALIAN GOVERNMENT. *National Inventory Report Vol 1*, Prepared by the Published: Australia, 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/478957>.
2. BRASIL. *Fourth Biennial update report of Brazil*. 2020. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/267661>.
3. DE LA TORRE, L.W.-M.-A. *National benefits of climate reporting*. Discussion paper. 2018. Disponível em: https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/180917_Information_Matters_National_benefits_of_climate_reporting.pdf.
4. ECAM. *Tool specific for the urban water and wastewater sector*. Disponível em: <https://dev.climatesmartwater.org/ecam/>.
5. GHG Protocol. *GHG protocol*. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/>.
6. 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. and Tanabe K. (eds). IGES, Japan, 2006.
7. IPCC. *2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Arising from the Kyoto Protocol*. 2013. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html>.
8. IPCC. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories*. 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/publication/2013-supplement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-wetlands/>.
9. IPCC. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Switzerland: IPCC, 2019.
10. IPCC. *IPCC FAQ on GHG Inventories*. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>.
11. IPCC. *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty management In National GHG Inventories* (2000). Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>.
12. IPCC. *IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change, and Forestry* (2003). Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gluglucf/gpuglucf.html>.
13. IPCC. *IPCC Inventory software. Official IPCC calculation tool*. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>.
14. IPCC. *Methodological basis for estimating and reporting GHG emissions*. 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>.
15. JORDANIAN MINISTRY OF ENVIRONMENT. *Jordan's second biennial update report: under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2020. Disponível em:

- <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Jordan%E2%80%99s%20Second%20Biennial%20Update%20Report%20for%20web%2010-5.pdf>.
16. MINAM. Ministry of the Environment. *National Inventory of Greenhouse Gases for the year 2016 and updates to the estimates for the years 2000, 2005, 2010, 2012 and 2014*. Lima, Peru, 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/299378>.
 17. UBA. *National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 2022*, Germany. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/461930>.
 18. UNDP. *Partnership on Transparency in the Paris Agreement: Good Practice: Improving national GHG inventories with corporate data in Australia*, 2017. Disponível em: <https://transparency-partnership.net/publications-tools/good-practice-improving-national-ghg-inventories-corporate-data-australia>.
 19. UNFCCC. *Compendium on Greenhouse Gas Baselines and Monitoring - National-Level Mitigation Actions. Support for countries in assessing emission reductions from national-level mitigation actions*. 2016. Disponível em: https://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/cge/application/pdf/final-compendium-mitigation-actions.pdf
 20. UNFCCC. *Guide for peer Review of National GHG Inventories. Manual for experts to assess the GHG inventory and inventory development process*. Disponível em: https://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/application/pdf/final_guide_for_peer_review_report_final_webupload.pdf
 21. UNFCCC. *MRV Training material under the UNFCCC*. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/support-for-developing-countries/guidelines-manuals-and-tools/measurement-reporting-and-verification-technical-material>
 22. UNFCCC. *Preparing for implementation of the enhanced transparency framework under the Paris Agreement. Enhanced Transparency Framework - Technical Material*. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/bodies/constituted-bodies/consultative-group-of-experts-cge/cge-training-materials/enhanced-transparency-framework-technical-material>
 23. UNFCCC. *Reporting Webinars. Training material on National Reporting (Webinars – at the end of the page)*. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/support-for-developing-countries/ghg-support#WEBINARS-and-ONLINE-TRAININGS---TRAINING-MATERIALS-and-RECORDINGS>
 24. UNFCCC. *SAGE Tool. Official UNFCCC calculation tool*. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Attachment%201_SAGE_User%20Manual_2022%2005%2010.pdf.
 25. UNFCCC. *Submitted National Reports. Training material on National Reporting (NIRs, BURs, NCs)*. Disponível em: <https://unfccc.int/national-reports-from-non-annex-i-parties>
 26. UNFCCC. *Toolkit for Building National GHG Systems. EPA Guides (Recommended by UNFCCC) for Building MRV Systems*. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/toolkit-building-national-ghg-inventory-systems>