ENERGIA ELÉTRICA E DESCARBONIZAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ANÁLISE DO ESCOPO 2 NO SISTEMA GUANDU-LAMEIRÃO, MAIOR ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNDO

Anna Clara Arantes Trindade[(1)]
Técnica em Química pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) e estagiária na CEDAE. Possui experiência em pesquisa científica e em projetos de extensão na área de Química de Produtos Naturais. Desenvolve atividades voltadas à sustentabilidade e à inovação ambiental, com foco na busca por soluções para os desafios ambientais e na promoção da gestão sustentável dos recursos naturais.
Rodrigo Ferreira Bittencourt[(2)]
Engenheiro Químico pela Universidade de São Paulo (USP) e Analista da Qualidade - CEDAE
Luize Esther Silva Procopio[(3)]
Graduanda em História pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e estagiária na CEDAE
Isadora Nacif Siqueira Tschiedel Thys[(4)]
Graduanda em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e estagiária na CEDAE

Endereço[(1)]**:** Av. Pres. Vargas, 2655 - Cidade Nova, Rio de Janeiro - RJ, 20210-030 - Brasil - Tel: +55 (21) 96549-2141 - e-mail: annaclaraarantes06@gmail.com.

RESUMO

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas ao consumo de energia elétrica representam um dos principais desafios para a descarbonização do setor de saneamento. O Sistema Guandu-Lameirão, operado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), abriga a Estação de Tratamento de Água do Guandu, reconhecida como a maior do mundo em produção contínua e responsável pelo abastecimento de aproximadamente nove milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Este trabalho analisou a evolução das emissões indiretas de Escopo 2 do sistema entre 2020 e 2025, com base nos Inventários de Emissões de GEE elaborados segundo as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2024). Os resultados demonstraram que a energia elétrica constituiu a principal fonte emissora do sistema, representando entre 78,69% e 99,75% das emissões totais. Verificou-se ainda que, apesar da relativa estabilidade do consumo energético, as emissões apresentaram variações significativas em função dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), evidenciando a influência da matriz elétrica brasileira sobre o desempenho climático do sistema e a importância da gestão energética para a descarbonização do abastecimento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Inventário de GEE e Abastecimento de água

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm impondo desafios crescentes aos diversos setores da economia, exigindo das organizações o desenvolvimento de estratégias voltadas à quantificação, monitoramento e redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2023). Nesse contexto, os inventários corporativos de emissões têm se consolidado como importantes instrumentos de gestão, permitindo identificar as principais fontes emissoras e subsidiar ações voltadas à mitigação dos impactos climáticos (GHG Protocol, 2004).

Embora o setor de saneamento desempenhe papel fundamental na promoção da saúde pública, proteção ambiental e segurança hídrica, suas atividades demandam elevado consumo energético, principalmente nos processos de captação, tratamento, bombeamento e transporte de água. Dessa forma, os sistemas produtores de água caracterizam-se como estruturas intensivas em energia, tornando a eletricidade um insumo estratégico tanto para a continuidade operacional quanto para o perfil de emissões de GEE (SNIS, 2025).

No Estado do Rio de Janeiro, destaca-se o Sistema Guandu-Lameirão, operado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). O sistema abriga a Estação de Tratamento de Água do Guandu,

reconhecida pelo *Guinness World Records* como a maior estação de tratamento de água do mundo em produção contínua. Com capacidade de produção de aproximadamente 43 m³/s, o sistema é responsável pelo abastecimento de cerca de nove milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (CEDAE, 2026a).

Em razão da magnitude de suas operações, a energia elétrica representa a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa do sistema. Os inventários de emissões elaborados pela CEDAE demonstram que as emissões indiretas decorrentes da aquisição de eletricidade (Escopo 2) predominam ao longo de toda a série histórica analisada (CEDAE, 2021; CEDAE, 2022; CEDAE, 2023; CEDAE, 2024; CEDAE, 2025; CEDAE, 2026b).

Além do elevado consumo energético, observa-se que as emissões associadas à energia elétrica são fortemente influenciadas pela composição da matriz elétrica brasileira. Alterações nos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), decorrentes principalmente da maior ou menor participação das fontes termelétricas, podem provocar variações significativas nas emissões associadas ao mesmo nível de consumo energético (MCTI, 2025; EPE, 2025).

Nesse contexto, o presente trabalho busca analisar a evolução das emissões de Escopo 2 do Sistema Guandu-Lameirão entre 2020 e 2025, avaliando a influência da matriz elétrica brasileira sobre o desempenho climático do maior sistema produtor de água do Estado do Rio de Janeiro e discutindo oportunidades para a descarbonização do setor de saneamento.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Analisar a evolução das emissões de gases de efeito estufa de Escopo 2 do Sistema Guandu-Lameirão no período de 2020 a 2025, avaliando a influência da matriz elétrica brasileira sobre o perfil de emissões do sistema.

Objetivos específicos

- Avaliar a participação das emissões de Escopo 2 nas emissões totais do sistema;
- Analisar a relação entre consumo de energia elétrica e emissões de gases de efeito estufa;
- Avaliar a influência dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional sobre os resultados observados;
- Identificar oportunidades de mitigação associadas à gestão energética;
- Evidenciar a importância da energia elétrica para a descarbonização do abastecimento de água.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

O presente estudo foi desenvolvido com base nos Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Guandu-Lameirão referentes ao período de 2020 a 2025 (CEDAE, 2021; CEDAE, 2022; CEDAE, 2023; CEDAE, 2024; CEDAE, 2025; CEDAE, 2026b).

Os inventários foram elaborados em conformidade com as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2024), compatíveis com os requisitos da norma ABNT NBR ISO 14064-1 (ABNT, 2019) e com as metodologias estabelecidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2006).

Para definição dos limites organizacionais foi adotada a abordagem de controle operacional, contemplando as instalações pertencentes ao Sistema Guandu-Lameirão, composto pela Estação de Tratamento de Água do Guandu e pela Elevatória do Lameirão.

O foco do presente estudo concentrou-se exclusivamente nas emissões indiretas de Escopo 2, correspondentes às emissões associadas à aquisição de energia elétrica consumida pelas unidades operacionais. Para

quantificação dessas emissões foi utilizada a abordagem baseada na localização, empregando os fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), disponibilizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) (MCTI, 2025).

Os dados de consumo de energia elétrica foram obtidos a partir dos registros mensais de faturamento e medição disponibilizados pela concessionária de energia elétrica responsável pelo atendimento às unidades operacionais do Sistema Guandu-Lameirão, posteriormente consolidados para cada ano-base dos inventários de emissões. Essas informações constituíram a base para a quantificação das emissões de Escopo 2 mediante aplicação dos fatores médios anuais de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

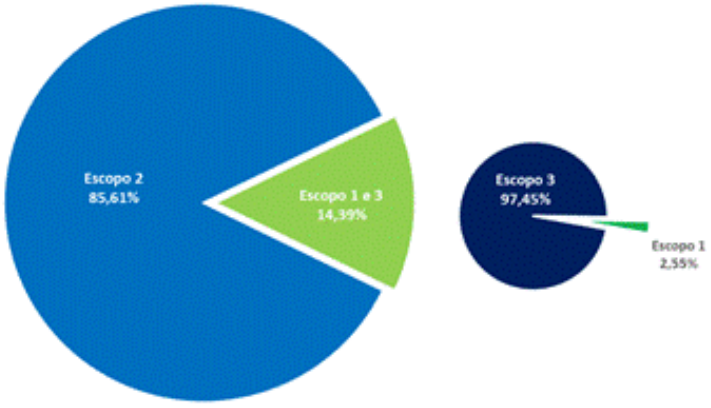
A análise contemplou a evolução histórica do consumo de energia elétrica, das emissões de Escopo 2 e dos fatores de emissão do SIN entre os anos de 2020 e 2025, permitindo avaliar a influência da matriz elétrica brasileira sobre o desempenho climático do sistema.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Perfil das emissões em 2025

Em 2025, o Sistema Guandu-Lameirão apresentou emissões totais de 32.674,31 tCO_2e, das quais 27.988,46 tCO_2e corresponderam às emissões indiretas associadas ao consumo de energia elétrica, representando 85,61% das emissões totais do sistema.
Esses resultados evidenciam a predominância das emissões de Escopo 2 e demonstram que a eletricidade constitui o principal vetor de emissões do maior sistema produtor de água do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 1 - Emissões GEE por escopo do Sistema Guandu-Lameirão



Fonte: Elaboração própria, 2025

Nota: O gráfico à direita apresenta a distribuição percentual das emissões apenas entre os Escopos 1 e 3. Assim, os percentuais de **97,45%** (Escopo 3) e **2,55%** (Escopo 1) referem-se exclusivamente à participação relativa desses dois escopos no total conjunto de emissões dos Escopos 1 e 3, e não ao total das emissões inventariadas.

4.2 Evolução histórica das emissões de Escopo 2

A análise da série histórica de 2020 a 2025 demonstrou a predominância contínua das emissões associadas à aquisição de energia elétrica. Ao longo de todo o período avaliado, as emissões de Escopo 2 apresentaram participação superior a 78% das emissões totais do sistema, alcançando valores próximos de 100% em determinados anos (CEDAE, 2021; CEDAE, 2022; CEDAE, 2023; CEDAE, 2024; CEDAE, 2025; CEDAE, 2026b).

Tabela 1 - Evolução histórica das emissões de gases de efeito estufa do Sistema Guandu-Lameirão entre os anos de 2020 e 2025.

Escopo	Fonte	Emissões (tCO_2e)					
		2020	2021	2022	2023	2024	2025
Escopo 1	Combustão móvel	38,33	77,67	76,91	63,61	83,14	85,94
	Combustão estacionária	3,30	6,49	6,86	7,32	18,85	12,76
	Emissões fugitivas	7,878	2,75	18,16	22,29	18,18	4,04
	Efluentes	11,48	11,42	11,69	19,33	33,83	17,38
	Emissões totais - Escopo 1	**60,98**	**98,33**	**113,61**	**112,55**	**154,00**	**120,13**
Escopo 2	Compra de energia elétrica	**38.988,57**	**79.537,84**	**26.806,89**	**23.526,77**	**33.026,15**	**27.988,46**
Escopo 3	Transporte de resíduos (*upstream)*	-	0,48	0,03	61,82	86,28	225,40
	Transporte de produtos químicos (*downstream*)	-	-	-	6.198,01	2.039,92	4.340,32
	Emissões totais - Escopo 3	-	**0,48**	**0,03**	**6.259,82**	**2.126,21**	**4.565,72**
Emissões totais		**39.049,56**	**79.636,64**	**26.920,52**	**29.899,14**	**35.306,36**	**32.674,31**

Escopo	Fonte	Emissões (tCO_2e) em %					
		2020	2021	2022	2023	2024	2025
Escopo 1	Combustão móvel	0,10%	0,10%	0,29%	0,21%	0,24%	0,26%
	Combustão estacionária	0,01%	0,01%	0,03%	0,02%	0,05%	0,04%
	Emissões fugitivas	0,02%	0,00%	0,07%	0,07%	0,10%	0,01%
	Efluentes	0,03%	0,01%	0,04%	0,06%	0,05%	0,05%
	Emissões totais - Escopo 1	**0,16%**	**0,12%**	**0,42%**	**0,38%**	**0,44%**	**0,37%**
Escopo 2	Compra de energia elétrica	**99,84%**	**99,88%**	**99,58%**	**78,69%**	**93,54%**	**85,66%**
Escopo 3	Transporte de resíduos (*upstream)*	-	0,00%	0,00%	0,21%	0,24%	0,69%
	Transporte de produtos químicos (*downstream*)	-	-	-	20,73%	5,78%	13,28%
	Emissões totais - Escopo 3	-	**0,00%**	**0,00%**	**20,94%**	**6,02%**	**13,97%**

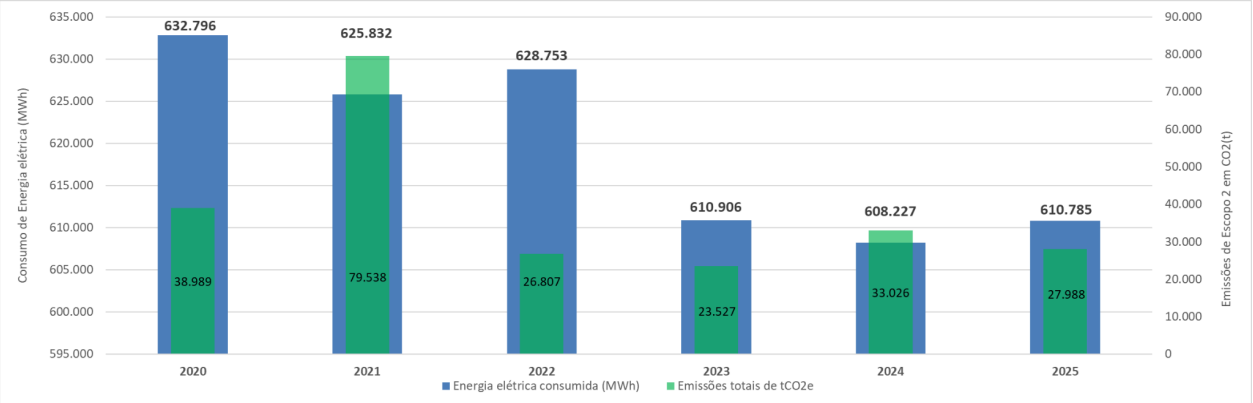
Fonte: Elaboração própria, 2025

Ressalta-se que não foram contabilizadas emissões de Escopo 3 nos inventários referentes aos anos de 2020 a 2022, em razão da delimitação metodológica e da indisponibilidade de dados necessários à sua quantificação. A inclusão dessas emissões a partir de 2023 decorreu da evolução metodológica dos inventários corporativos.

4.3 Relação entre consumo energético e emissões

Embora o consumo anual de energia elétrica tenha permanecido relativamente estável, observa-se, entretanto, uma redução do consumo energético a partir de 2023, uma vez que o funcionamento das unidades geradoras de energia depende de fatores climáticos. Essa redução contribuiu para o menor consumo absoluto de eletricidade observado nos anos subsequentes, refletindo diretamente nos indicadores energéticos do sistema.

Figura 2 - Evolução do consumo de energia elétrica e das emissões de Escopo 2 do Sistema Guandu-Lameirão no período de 2020 a 2025.



Fonte: Elaboração própria, 2025

A avaliação do consumo específico de energia demonstrou valores de 632.796 kWh/m³ em 2020, 625.832 em 2021, 628.753 em 2022, 610.906 em 2023, 608.227 em 2024 e 610.785 em 2025. Os resultados evidenciam uma tendência de redução do consumo específico de energia ao longo da série histórica, com pequenas oscilações entre os anos. O menor valor foi registrado em 2024, e, embora tenha ocorrido um discreto aumento em 2025, o indicador permaneceu inferior aos valores observados entre 2020 e 2022, indicando evolução do desempenho energético do sistema ao longo da série histórica.

Quando analisadas as emissões específicas por volume de água produzido (tCO_2e/m^3), verificou-se aumento de aproximadamente 104% em 2021 em relação ao ano-base de 2020, seguido por reduções de cerca de 31% em 2022, 25% em 2023, 10% em 2024 e 15% em 2025. Esse indicador permite avaliar o desempenho climático do sistema independentemente das variações no volume de água produzido, evidenciando a influência simultânea da eficiência operacional e dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O pico das emissões foi registrado em 2021, quando a crise hídrica nacional resultou em maior despacho de usinas termelétricas e aumento da intensidade carbônica da matriz elétrica brasileira (EPE, 2025; IEMA, 2024).

Em contrapartida, em 2025 observou-se redução significativa das emissões em função da diminuição dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional.

4.4 Influência da matriz elétrica brasileira sobre as emissões do Sistema Guandu-Lameirão

Um dos principais resultados observados ao longo da série histórica analisada foi a forte influência da matriz elétrica brasileira sobre as emissões de gases de efeito estufa associadas ao consumo de energia elétrica do Sistema Guandu-Lameirão. Embora o sistema tenha apresentado consumo energético relativamente estável

entre os anos de 2020 e 2025, as emissões de Escopo 2 apresentaram variações expressivas ao longo do período, evidenciando que a intensidade carbônica da eletricidade consumida exerce papel determinante sobre o desempenho climático do sistema (MCTI, 2025).

A análise dos resultados demonstra que não existe uma relação diretamente proporcional entre consumo de energia elétrica e emissões de gases de efeito estufa. Em outras palavras, anos com consumos energéticos semelhantes apresentaram emissões significativamente diferentes, em função das oscilações nos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN). Esse comportamento evidencia que a pegada de carbono do Sistema Guandu-Lameirão é influenciada não apenas por fatores operacionais internos, mas também pelas características da matriz elétrica brasileira.

O ano de 2021 representa o exemplo mais expressivo dessa relação. Em decorrência da crise hídrica observada em diversas regiões do país, houve redução da disponibilidade hídrica dos reservatórios e, consequentemente, maior despacho de usinas termelétricas para garantir a segurança do suprimento energético nacional (EPE, 2025). Como resultado, o fator de emissão médio do SIN atingiu seu maior valor da série histórica. Os fatores médios anuais de emissão do SIN corresponderam a 0,0617 tCO_2/MWh (2020), 0,1264 (2021), 0,0426 (2022), 0,0385 (2023), 0,0545 (2024) e 0,0458 (2025), evidenciando a redução gradual da intensidade carbônica da matriz elétrica brasileira após a crise hídrica de 2021. Essa evolução explica parte significativa da redução das emissões de Escopo 2 observada mesmo em cenários de consumo energético semelhantes.

Por outro lado, a partir de 2022 observou-se uma gradual redução dos fatores de emissão da matriz elétrica brasileira, impulsionada pela recuperação das condições hidrológicas e pela maior participação das fontes renováveis na geração de eletricidade (IEA, 2025). Essa mudança refletiu diretamente na redução das emissões de Escopo 2 do sistema, culminando, em 2025, em uma redução aproximada de 28% em relação ao ano-base de 2020, apesar da manutenção de elevados níveis de consumo energético. Esse comportamento demonstra que melhorias no desempenho climático do sistema podem ocorrer não apenas em função de ganhos de eficiência operacional, mas também em decorrência da redução da intensidade de carbono da energia disponibilizada pela rede elétrica nacional.

Esses resultados reforçam a importância de interpretar os inventários de gases de efeito estufa de forma integrada, considerando simultaneamente os indicadores energéticos e os fatores externos relacionados à matriz elétrica. A análise isolada das emissões totais pode levar a interpretações equivocadas sobre a eficiência do sistema, uma vez que parte das variações observadas decorre de condições externas à gestão da organização. Nesse contexto, indicadores complementares, como o consumo específico de energia elétrica por volume de água produzida (kWh/m^3), tornam-se ferramentas fundamentais para distinguir os efeitos decorrentes da eficiência operacional daqueles associados às mudanças na intensidade carbônica do SIN.

Além disso, os resultados evidenciam que a descarbonização do setor de saneamento está intrinsecamente relacionada ao processo de transição energética nacional. Em sistemas de grande porte como o Guandu-Lameirão, cuja principal fonte de emissão é a energia elétrica, iniciativas voltadas à eficiência energética devem ser acompanhadas por estratégias relacionadas à contratação de energia renovável, participação no mercado livre de energia, utilização de certificados de energia renovável (I-REC) e desenvolvimento de projetos de geração distribuída. Dessa forma, a redução das emissões do abastecimento de água depende tanto do aprimoramento operacional das unidades quanto da contínua evolução da matriz elétrica brasileira para uma configuração cada vez mais limpa e menos intensiva em carbono.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos evidenciam que a energia elétrica constitui o principal vetor de emissões de gases de efeito estufa do Sistema Guandu-Lameirão. Ao longo de toda a série histórica analisada, as emissões indiretas associadas à aquisição de eletricidade (Escopo 2) representaram a maior parcela das emissões totais do sistema, atingindo 85,61% em 2025 (CEDAE, 2026b).

Essa predominância está diretamente associada às características operacionais do sistema. O Sistema Guandu-Lameirão abriga a Estação de Tratamento de Água do Guandu, reconhecida pelo Guinness World Records como a maior estação de tratamento de água do mundo em produção contínua, com capacidade de produção de aproximadamente 43 m^3/s e responsável pelo abastecimento de cerca de nove milhões de

habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A magnitude dessa operação exige o funcionamento contínuo das estruturas de captação, tratamento, recalque e adução, tornando a energia elétrica um insumo indispensável para a garantia da segurança hídrica da região.

Entretanto, um dos principais resultados observados neste estudo foi a ausência de uma relação diretamente proporcional entre o consumo de energia elétrica e as emissões de gases de efeito estufa. Embora o consumo energético do Sistema Guandu-Lameirão tenha permanecido relativamente estável entre os anos de 2020 e 2025, as emissões de Escopo 2 apresentaram variações significativas ao longo do período analisado.

Esse comportamento demonstra que a intensidade carbônica da energia consumida exerce influência tão importante quanto o próprio volume de eletricidade utilizado. Assim, o desempenho climático do sistema depende não apenas da eficiência operacional das unidades, mas também da composição da matriz elétrica brasileira (MCTI, 2025; EPE, 2025).

O exemplo mais representativo foi observado em 2021, período marcado pela crise hídrica que afetou grande parte do território nacional. A redução dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas provocou maior despacho de usinas termelétricas, aumentando a intensidade carbônica do Sistema Interligado Nacional (SIN). Como consequência, as emissões associadas ao consumo de energia elétrica atingiram o maior valor da série histórica, mesmo sem aumento proporcional do consumo energético do sistema.

Nos anos subsequentes, a recuperação das condições hidrológicas e a consequente redução da participação das fontes termelétricas contribuíram para a diminuição dos fatores de emissão do SIN (IEA, 2025). Dessa forma, observou-se redução significativa das emissões associadas à eletricidade em 2025, demonstrando que a evolução da matriz elétrica nacional exerce influência direta sobre os resultados dos inventários de gases de efeito estufa.

Esses resultados evidenciam que a interpretação das emissões associadas ao abastecimento de água deve considerar não apenas os valores absolutos de tCO_2e, mas também indicadores operacionais e energéticos capazes de distinguir os impactos decorrentes da eficiência do sistema daqueles relacionados às condições externas da matriz elétrica.

Nesse contexto, indicadores como o consumo específico de energia por volume de água produzida (kWh/m^3) e as emissões específicas por unidade de produção (tCO_2e/m^3) tornam-se importantes ferramentas para avaliação do desempenho operacional, permitindo monitorar tendências, identificar oportunidades de melhoria e orientar estratégias de mitigação.

Além disso, os resultados reforçam que as maiores oportunidades de redução de emissões no Sistema Guandu-Lameirão encontram-se associadas à gestão energética. A modernização de equipamentos, a otimização dos sistemas de bombeamento, a melhoria dos processos operacionais e a redução do consumo específico de energia podem proporcionar ganhos ambientais significativos (IEA, 2025).

Paralelamente, estratégias relacionadas à transição energética, como a ampliação da participação de fontes renováveis, a contratação de energia no mercado livre, a aquisição de certificados internacionais de energia renovável (I-REC) e a implantação de sistemas de geração distribuída, apresentam elevado potencial para reduzir a intensidade carbônica associada ao consumo de eletricidade.

Assim, os inventários de gases de efeito estufa deixam de ser apenas instrumentos de reporte ambiental e passam a desempenhar papel estratégico na gestão energética e climática das empresas de saneamento, contribuindo para a definição de prioridades e para o direcionamento de investimentos voltados à

A análise das emissões de gases de efeito estufa do Sistema Guandu-Lameirão no período de 2020 a 2025 demonstrou que a energia elétrica constitui a principal fonte de emissões do sistema, evidenciando o caráter eletrointensivo das atividades de produção e transporte de água.

Ao longo de toda a série histórica analisada, as emissões de Escopo 2 permaneceram predominantes, representando entre 78,69% e 99,75% das emissões totais do sistema e atingindo 85,61% em 2025. Esses

resultados confirmam que a eletricidade representa o principal foco das estratégias de descarbonização do abastecimento de água.

O estudo evidenciou ainda que as variações das emissões de Escopo 2 não estão relacionadas exclusivamente ao consumo energético do sistema, sendo fortemente influenciadas pelas oscilações dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (MCTI, 2025). Dessa forma, o desempenho climático do setor de saneamento apresenta estreita relação com a composição da matriz elétrica brasileira.

Os resultados demonstram que a energia elétrica ultrapassa a condição de simples insumo operacional, assumindo papel estratégico na descarbonização dos sistemas de abastecimento de água. Em sistemas eletrointensivos, como o Guandu-Lameirão, a gestão energética influencia simultaneamente os custos operacionais, a eficiência do processo produtivo e o desempenho climático, tornando-se elemento central para o planejamento da transição para uma operação de menor intensidade de carbono.

Por fim, conclui-se que a gestão energética deve ser considerada componente estratégico das ações de descarbonização do setor de saneamento, especialmente em sistemas de grande porte, como o Sistema Guandu-Lameirão, responsável pela operação da maior estação de tratamento de água do mundo.

6. RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se:

- fortalecer o monitoramento dos indicadores de desempenho energético das unidades operacionais do Sistema Guandu-Lameirão;
- ampliar estudos voltados à eficiência energética dos sistemas de captação, bombeamento e adução;
- avaliar oportunidades de modernização de equipamentos eletromecânicos, visando à redução do consumo específico de energia;
- desenvolver estudos de viabilidade para utilização de fontes renováveis de energia e contratação de energia de menor intensidade carbônica;
- integrar os resultados dos inventários de gases de efeito estufa ao planejamento estratégico e aos programas de eficiência energética da companhia;
- manter o acompanhamento anual das emissões de Escopo 2 como instrumento de apoio à tomada de decisão e monitoramento da evolução do desempenho climático do sistema.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 14064-1 – Gases de efeito estufa – Parte 1: Especificação com orientação no nível da organização para quantificação e relato de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.abntonline.com.br/CERTO2015/CERTODADOS/Document?a=draTDB0qRt4MtIzraPl2sw%3D%3D. Acesso em: 25 maio 2026

2. CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Guandu-Lameirão – Ano-base 2020. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://registropublicodeemissoes.fgv.br/992379bf-5c6b-48d4-a469-0ac99953b365. Acesso em: 26 maio 2026

3. CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Guandu-Lameirão – Ano-base 2021. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://registropublicodeemissoes.fgv.br/992379bf-5c6b-48d4-a469-0ac99953b365. Acesso em: 26 maio 2026

4. CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Guandu-Lameirão – Ano-base 2022. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://registropublicodeemissoes.fgv.br/992379bf-5c6b-48d4-a469-0ac99953b365. Acesso em: 28 maio 2026

5. CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Guandu-Lameirão – Ano-base 2023. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://registropublicodeemissoes.fgv.br/992379bf-5c6b-48d4-a469-0ac99953b365. Acesso em: 29 maio 2026

6. CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Guandu-Lameirão – Ano-base 2024. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: https://registropublicodeemissoes.fgv.br/992379bf-5c6b-48d4-a469-0ac99953b365. Acesso em: 29 maio 2026

7. CEDAE - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Sistema Guandu. Disponível em: https://www.cedae.com.br/SOCIOAMBIENTAL/O-mapa-das-%C3%A1guas/Sistema-Guandu. Acesso em: 31 maio. 2026.

8. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2025: Ano-base 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-771/Relat%C3%B3rio%20Final_BEN%202025.pdf. Acesso em: 01 jun. 2026.

9. GHG PROTOCOL. The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. Washington, DC: World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, 2004. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf. Acesso em 02 jun. 2026.

10. INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). Emissões do Setor Elétrico Brasileiro. São Paulo, 2024. Disponível em; https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2025/09/RelatorioAnual_IEMA_2024.pdf. Acesso em: 02 jun. 2026.

11. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES, 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html Acesso em: 05 jun 2026

12. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 09 jun. 2026

13. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Electricity 2025: Analysis and Forecast to 2027. Paris: IEA, 2025. Disponível em: https://www.iea.org/reports/electricity-2025. Acesso em: 29 maio 2026.

14. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Fatores Médios de Emissão de CO_2 do Sistema Interligado Nacional do Brasil. Brasília, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao. Acesso em: 29 maio 2026.

15. PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa. São Paulo: Fundação Getulio Vargas, 2024. Disponível em: https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/c7c1073a-44dc-489b-8c3c-da456d740592/content . Acesso em: 10 jun. 2026

16. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto – Ano de Referência 2024. Brasília: Ministério das Cidades, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis. Acesso em: 29 maio 2026.