

Estimativa da emissão de carbono no tratamento de esgoto do município de Garanhuns-PE

Estimate of carbon emissions from sewage treatment in the municipality of Garanhuns-PE

DOI:10.34117/bjdv9n1-089

Recebimento dos originais: 05/12/2022

Aceitação para publicação: 06/01/2023

Thamires Carolayne Cavalcanti Moura

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGCAM - UFPE) - Campus Agreste
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Campus Agreste
Endereço: Av. Marielle Franco, S/N, Km 59, Nova - PE, CEP: 55014-900
E-mail: tccmoura@gmail.com

Andressa Maria Silva Leite Esteves

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGCAM - UFPE) - Campus Agreste
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Campus Agreste
Endereço: Av. Marielle Franco, S/N, Km 59, Nova - PE, CEP: 55014-900
E-mail: andressa.esteves@ufpe.br

Leonel Vitório Esteves

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGCAM - UFPE) - Campus Agreste
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Campus Agreste
Endereço: Av. Marielle Franco, S/N, Km 59, Nova - PE, CEP: 55014-900
E-mail: leonel.esteves@ufpe.br

Tamara de Lima Oliveira

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGCAM - UFPE) - Campus Agreste
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Campus Agreste
Endereço: Av. Marielle Franco, S/N, Km 59, Nova - PE, CEP: 55014-900
E-mail: tamaaraoliveira@gmail.com

Eusileide Suienne Rodrigues Lopes de Melo

Mestre em Engenharia Civil pela Faculdade Integradas de Garanhuns (FACIGA)
Instituição: Faculdade Integradas de Garanhuns (FACIGA)
Endereço: Avenida Caruaru, 508, São José, Garanhuns - PE
E-mail: eusileidesuienne@aesga.edu.br

Edevaldo Miguel Alves

Doutor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGCAM - UFPE) - Campus Agreste
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - Campus Agreste
Endereço: Avenida Marielle Franco, Nova Caruaru, Caruaru – PE, CEP: 55014-900
E-mail: edevaldo.miguel@ufpe.br

RESUMO

As reações de biodegradação da carga orgânica, contida nos efluentes, produzem como subprodutos gases, por exemplo o dióxido de carbono, como principal gás nocivo frente aos demais Gases do Efeito Estufa. Desta forma, este estudo teve como questionamento: Qual a quantidade de CO₂ emitida em cada operação do tratamento de esgoto municipal, e qual valor será produzido quando a população do município for atendida em sua totalidade? Nesse sentido, essa pesquisa tem como objetivo geral estimar o CO₂ lançado a atmosfera, expresso em toneladas por ano, proveniente da prestação do serviço de esgotamento sanitário para a atual parcela da população atendida em Garanhuns-PE, possuindo como objetivos específicos: apresentar as etapas e os tipos de tratamento de esgoto; quantificar o CO₂ emitido por etapas que compõe o sistema da ETE; realizar uma projeção da estimativa para quando todo o efluente gerado em sua totalidade no município for tratado. A metodologia aplicada consiste em uma pesquisa exploratória, envolvendo levantamento bibliográfico, consistindo em uma pesquisa aplicada. A partir de equações, desenvolvidas através de relações estequiométricas, associadas a padrões determinados pela principal agência que atua no setor, globalmente, o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e conhecimento das operações que fazem a ETE foi possível estimar a geração de carbono relacionado ao processo. Foi possível determinar que, o tratamento dos efluentes domésticos, para cada mil habitantes atendidos pelo serviço, possui a capacidade de lançamento de, aproximadamente, 197,19 toneladas/habitante por ano, na atmosfera.

Palavras-chave: esgotamento sanitário, tratamento de efluentes, gases de efeito estufa.

ABSTRACT

As a biodegradation of the organic load contained in the effluent gases, as an example of reactions, as a reaction or carbon dioxide to the other main gases harmful to the greenhouse gases. This way, this study: What is the amount of CO₂ treatment as municipal treatment, in each municipal treatment operation, and what value will be produced when a municipality has served in its entirety? In this sense, this research as a general objective to estimate the CO₂ released to an atmosphere, expressed in tons per year, provided by the provision of the sewage service, a current portion of the population served in Garanhuns-PE as specific objectives: to present as stages and the types sewage treatment; CO₂ quantifier distributed in stages that make up the ETE system; perform an estimate of the estimate for when all effluent is generated in its entirety not for the treated municipality. An applied methodology consists of exploratory research, research in a bibliographic research, consisting of an applied research. From an agency, which is defined as defined by the government, defined through a global panel that manages IP related to the defined Climate Change, globally defined as a climate change (referenced) of the operations, globally defined by the agency, which is defined as a governmental change (jointly) to the process. It was possible to determine that the treatment of internal effluents, for every thousand inhabitants served by the service, has the capacity to release approximately 197.19 tons/inhabitant per year into the atmosphere.

Keywords: sewage, wastewater treatment, greenhouse gases.

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o aumento da população nos centros urbanos, o Brasil vem enfrentando diversas dificuldades que evidenciam que não há a priorização do saneamento básico, onde mais de 100 milhões de brasileiros não possuem acesso ao serviço de coleta de esgoto, sendo 21,7 milhões nos maiores municípios do país. Para Madeira (2010), a prestação dos serviços de saneamento básico é primordial para garantia qualidade de vida de uma população.

Esse setor causa impactos sobre o meio ambiente, o desenvolvimento econômico e a saúde da população, onde de acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2008), para cada US\$ 1 gasto em saneamento básico, são economizado US\$ 4 com a saúde pública. Dessa maneira, é entendido que o desenvolvimento de uma comunidade está diretamente relacionado a taxa de população que é contemplada com os serviços de saneamento básico, pois o mesmo reflete diretamente na qualidade de vida da população, bem como no bem estar físico, mental, social e na saúde. Diante da pandemia mundial que o mundo está enfrentando, é notório que os países que possuem baixo percentual de área saneada estão enfrentando com maiores dificuldades os problemas.

Frente à necessidade de assegurar o desenvolvimento e a qualidade de vida da população, além de garantir que o efluente será devolvido para os mananciais adequadamente tratados, a fim de não causar danos ao meio ambiente através dos processos do tratamento de esgoto, surgem desafio relacionado a poluição do ar e as alterações climáticas.

O tratamento dos efluentes nos processos biológicos gera como subproduto o dióxido de carbono (CO_2) que é um dos gases do efeito estufa (GEE), elevando a poluição ambiental, visto que a compensação de carbono é inferior a taxa de crescimento das emissões, contribuindo com os impactos potenciais de aquecimento global.

A degradação da matéria orgânica realizada pelos microrganismos origina outras substâncias, em geral menos danosas ao meio ambiente e que neutralizam o efeito poluidor do material que entra na estação como afluente. Como subproduto desse trabalho microscópico de redução de carga poluidora ocorre a produção de CO_2 e outros gases, tais como amônia e sulfetos, contribuindo com os ciclos naturais do carbono, nitrogênio e enxofre.

O potencial de emissão de carbono na atmosfera obtido do processo de tratamento de efluentes pode ter maior ou menor contribuição, uma vez que o processo anaeróbico produz uma quantidade maior desse subproduto, em relação ao processo aeróbico (LIMA, 2014).

No agreste do estado de Pernambuco, há 230 km de distância da capital, o município de Garanhuns conta com as instalações de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que trata os esgotos sanitários de origem doméstica e é operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), a mesma recebe os efluentes através de sistemas de bombeamento de estações elevatórias, possui uma vazão afluente média de 41,25 litros por segundo e atende a menos de 20% da população residente do município.

Este trabalho tem por objetivo estimar o CO₂ lançado a atmosfera, expresso em toneladas por ano, proveniente da prestação do serviço de esgotamento sanitário para a atual parcela da população atendida em Garanhuns, possuindo como objetivos específicos: apresentar as etapas e os tipos de tratamento de esgoto; quantificar o CO₂ emitido por etapas que compõe o sistema da ETE; realizar uma projeção da estimativa para quando todo o efluente gerado em sua totalidade no município for tratado e estimar o valor monetário de créditos de carbono para metano.

Como metodologia, o estudo foi caracterizado como uma pesquisa aplicada e exploratória, envolvendo levantamento bibliográfico, levantamento de dados com base no IPCC (2006) e análise de dados.

2 EMISSÃO DE GEE POR ETES

Alguns estudos apresentam dados referentes a emissão de GEE por ETES, principalmente sobre os gases CO₂, CH₄ e N₂O, porém existem discrepâncias nos dados obtidos nos diferentes estudos. Em relação aos princípios do tratamento biológico do efluente, a quantidade de GEE emitida por ETES tem relação com o tipo de processo que é utilizado durante o tratamento (YAN *et al.*, 2014).

É de suma importância quantificar as emissões do CO₂ gerados através do crescimento da biomassa por meio da oxidação da matéria orgânica biodegradável, que ocorre durante o processo do tratamento biológico dos efluentes (LAW *et al.*, 2013).

Nos processos biológicos que ocorrem durante o tratamento de esgotos urbanos, o CO₂ é gerado através da degradação da matéria orgânica, tanto por processos aeróbios

como anaeróbios (SHAHABADI *et al.*, 2010, FLORES-ALSINA *et al.*, 2011, FINE; HADAS, 2012, BAO *et al.*, 2015).

Para os protocolos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o CO₂ oriundo de fontes biogênicas não é considerado GEE, porém essa suposição só é considerada como verdadeira nos casos de biomassa ou de combustíveis renováveis produzidos sem a presença de fontes fósseis, o que geralmente não ocorre com facilidade (SHAHABADI *et al.*, 2010).

As emissões diretas de CO₂ nas ETES são consideradas como emissões de vida curta de carbono biogênico, e dessa forma não contribuem com a emissão total de GEE (IPCC, 2006), entretanto, por outro lado, as emissões de CO₂ que derivam da degradação de fontes fósseis, que são as emissões de carbono de longa duração, causam um impacto de potencial de aquecimento global, contribuindo com as emissões de GEE durante o processo de tratamento dos esgotos (BAO *et al.*, 2016).

A degradação da matéria orgânica geralmente é considerada um processo de emissão zero de carbono pois está atrelada ao ciclo natural do carbono, mas estudos recentes vão contra essa teoria mostrando que parte carbono orgânico não possui origem biogênica, pois são derivados de petróleo (produtos de higiene pessoal, cosméticos, fármacos, entre outros), sendo conhecido como carbono orgânico fóssil (COF). A quantidade de COF presente no esgoto é considerada uma fonte de emissão de CO₂, sendo uma das frações contribuintes para a pegada de carbono líquida de sistemas de tratamento de efluentes (MANNINA *et al.*, 2016).

Assim, conforme os estudos mais recentes, é necessário reconsiderar a quantidade de CO₂ que é produzida nos processos biológicos. Vale ressaltar também que o COF nem todas as vezes é completamente degradado, pois pode acontecer do mesmo possuir uma baixa biodegradabilidade. As emissões de carbono (CO₂ e CH₄) são mais elevadas nos casos de tratamentos primários e reduzidas em casos de tratamentos mais avançados, devido às emissões oriundas dos corpos receptores (FOLEY *et al.*, 2010, ROSSO; BOLZONELLA, 2009).

Além das emissões diretas de CO₂ que ocorrem nas ETES, também ocorre a produção das emissões indiretas de CO₂, essas estão associadas a energia de operação, recursos elétricos e também ao consumo de produtos químicos (COROMINAS *et al.*, 2012).

Para que sejam dimensionadas as emissões de GEE geradas nos sistemas de tratamento de esgoto, é preciso calcular a emissão gasosa por unidade de volume, ou seja, a quantidade de GEE emitida por metro cúbico de esgoto tratado. De forma a comparar as emissões de GEE oriundas de sistemas de tratamento de águas residuárias, é conveniente determinar a emissão gasosa por unidade de volume, ou seja, a quantidade de GEE emitida por metro cúbico de efluente tratado (BAO *et al.*, 2016).

3 METODOLOGIA

O estudo proposto foi realizado abrangendo os passos seguintes: levantamento bibliográfico; análise dos dados obtidos; simulação das emissões de dióxido de carbono geradas; cálculo de área de sequestro de carbono equivalente; e, por fim, resultados e discussões.

Consiste em uma pesquisa aplicada, voltando-se a elucidação de problemas específicos, com o objetivo de gerar conhecimentos para que sejam aplicados em prática, direcionados para a solução de problemas específicos, envolvendo interesses locais, sendo uma pesquisa exploratória, envolvendo levantamento bibliográfico, análise de outros exemplos que estimulam a compreensão e obtenção de dados de outras experiências práticas com o problema pesquisado (FONSECA, 2002, GIL, 2007).

Foram utilizadas as diretrizes do IPCC, para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa oriundos do processo de tratamento de efluentes domésticos. A estimativa foi calculada para a população atualmente atendida com o serviço de esgotamento sanitário no município de Garanhuns-PE e projetado para quando a população for atendida em sua totalidade através da expansão do serviço de saneamento básico.

No setor de saneamento básico, os inventários de emissão de GEE realizados pelas companhias de água e esgoto no Brasil, pela Sabesp, Copasa e Sanepar, utilizam esta mesma metodologia proposta, associando-a ao método do IPCC para estimar as emissões durante o processo de manejo do esgoto (COPASA, 2014, PAGANINI, 2013, SANEPAR, 2017).

De acordo com Fonseca (2002) a pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis. Portanto, quanto à abordagem este documento abrange uma pesquisa científica quantitativa, uma vez compreende análise de dados que serão trabalhados matematicamente objetivando em analisar e mensurar um fenômeno.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ETE objeto deste estudo está localizada em Garanhuns-PE, município do interior de Pernambuco que possui cerca de 141 habitantes, onde 89,14% reside em área urbana e 10,86% em área rural e consiste em um dos 9 atendidos por uma ETE Estadual. Atualmente, apenas cerca de 18.157 habitantes são atendidos com o sistema de esgotamento sanitário, equivalente a 12,99% da população (SNIS, 2019).

A ETE do município de Garanhuns recebe o esgoto bruto que é lançado por uma estação elevatória por meio de bombeamento. O tratamento possui uma eficiência em remoção de DBO de aproximadamente 85% e recebe uma vazão média de 41,25l/s.

3.2 ESTIMATIVA DE CO₂

A quantidade de carbono emitida em decorrência do processo de tratamento de efluentes foi estimada tomando como base os cálculos de geração de dióxido de carbono por etapas, descrito por Lima e Salvador (2014).

As expressões numéricas foram determinadas pelas equações químicas correspondentes que ocorrem durante o processo de degradação da matéria orgânica para sistemas que envolvem processos aeróbicos, anaeróbicos e anóxicas.

Uma vez definidas as etapas de tratamento do esgoto, é possível aplicar as equações e formulações correspondentes, como descritas a seguir, e obter estimativa de geração de carbono por uns mil habitantes atendidos pelo serviço de saneamento. A partir dos dados populacionais relativos à Estação de Tratamento de Efluentes estudada, aplica-se relação proporcional e se obtém o resultado esperado.

A princípio, foi utilizada a Equação 1, mostrada a seguir, para a obtenção da estimativa das emissões de metano pelo tratamento de efluentes sanitários. No entanto, como pode ser verificado na descrição das variáveis que compõem a formulação, a quantidade de metano recuperado pela queima do gás gerado é subtraída do valor total. A ETE estudada não possui equipamento de queima do biogás gerado, portanto a variável R foi desconsiderada, por ser numericamente igual a zero.

$$CH_4\text{emitido} = (TOW_{dom} \times EF) - R \quad (1)$$

Onde:

$CH_4\text{emitido}$ = Quantidade de metano gerada ao ano em tCH₄/ano;

TOW_{dom} = Efluente doméstico orgânico total em kgDBO/ano;

EF = Fator de emissão em kgDBO/ano;

R = CH_4 recuperado ao ano em kg CH_4 /ano.

Para o cálculo da quantidade de efluente doméstico orgânico total foi utilizada a seguinte Equação 2:

$$TOW_{dom} = POP_{urb} \times D_{dom} \quad (2)$$

Onde:

TOW_{dom} = Efluente doméstico orgânico total em kgDBO/ano;

POP_{urb} = População urbana atendida por pessoas;

D_{dom} = Componente orgânico degradável do efluente doméstico em kgDBO/1000pessoas/ano.

Por sua vez, para o cálculo do fator de emissão foi utilizada a seguinte Equação 3 apresentada:

$$EF = B_0 \times MédiaponderadaMCF \quad (3)$$

Onde:

EF = Fator de emissão em kgDBO/ano;

B_0 = Capacidade máxima de produção de metano em kg CH_4 /kgDBO;

MCF = Fator de conversão de metano do processo “x” tratando o efluente “i”.

Para realização do cálculo do fator de conversão de metano de cada um dos processos do tratamento de efluentes foram utilizados os valores parâmetros padrão do IPCC (2006) apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de MCF e estimativa da produção de metano

Processo	MCF	Emissões CH4 Tch4/1000 pessoas/ano
Unidade de medida	Adimensional	
Tanque Séptico (TS)	0,5	5,9
Reator Anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (RAFA)	0,8	4,7
Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)	0,8	4,7
Lagoa Anaeróbia (profundidade maior que 3 metros) (Lan)	0,8	9,5
Lagoa Facultativa (profundidade menor que 2 metros) (Lfac)	0,2	2,4
Lagoa Aerada (profundidade maior que 2 metros) (LaerF)	0,2	2,4
Lagoa Aerada (profundidade maior que dois metros) (Laer)	0,1	1,2
Lodos Ativados Convencional (Digestor de Lodo) (LAC(DL))	0,8	4,7

Lodos Ativados Convencional (Tanque de Aeração Convencional) (LAC(TA))	0,3	3,5
Lodos Ativados por Aeração Prolongada (Digestor de Lodo) (LAAP)DL)	0,8	4,7
Lodos Ativados por Aeração Prolongada (Tanque de Aeração sobrecarregado (LAAP(TA))	0,3	3,5
Lodos Ativados por Batelada (Digestor de Lodo) (LAB (DL))	0,8	4,7
Lodos Ativados por Batelada (Tanque de Aeração sobrecarregado) (LAB (TA))	0,3	3,5

Fonte: Lima e Salvador, (2014).

Com base nestes valores foi possível calcular o MCF_i com a seguinte Equação 4.

$$MCF_i = \sum WS_{i,x} \times MCF_x \quad (4)$$

Onde:

$MCF_{i,x}$ = Fator de conversão de metano do processo “x” tratando o efluente “i”;

WS = Fração do efluente do tipo “i” tratada usando o processo “x”.

As equações e os fatores descritos na metodologia do IPCC (2006) têm como objetivo principal a estimativa de geração de metano, por isso foi necessário inserir relações numéricas adicionais para obter a respectiva emissão de dióxido de carbono relacionada. Lima e Salvador (2014), baseando-se em relações estequiométricas das reações químicas envolvidas, adaptaram o método supracitado, possibilitando a realização da conversão de valores.

Com posse de todos os dados citados anteriormente, foi realizada a conversão de CH_4 emitido para CO_2 equivalente emitido. Dessa forma, e Equação 5 apresentada a seguir foi utilizada para estimativa de emissões de GEE em termos de tCO_2 em cada um dos processos de tratamento de esgotos sanitários para uma comunidade de 1000 habitantes tomada como referência.

$$CO_2 \text{ emitido} = (21 \times CH_4) + (310 \times NO_2) \quad (5)$$

Observou-se que a relação existente entre os três principais gases que compõem o biogás (NO_2 , CH_4 , CO_2) foi utilizada no desenvolvimento da última formulação. No entanto, a quantidade de óxidos de nitrogênio foi desconsiderada nesse estudo, seguindo o proposto por Lima e Salvador (2014), Vervloet e Cetrulo (2016) e previsto pelo IPCC (2006). Emissões da nitrificação e desnitrificação (anaeróbica) em ETES são fontes

minoritárias quando comparadas com as fontes indiretas, provenientes de lançamento de águas residuárias nos corpos de águas (IPCC, 2006).

4 RESULTADO E DISCURSÃO

O estudo bibliográfico propiciou relacionar as operações de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE – Garanhuns) com a emissão de Gases do Efeito Estufa. O principal gás causador do efeito estufa, o dióxido de carbono, foi objeto principal desse estudo, sendo obtido após determinar o quantitativo de emissões de metano, conforme descrito no capítulo referente a metodologia.

As estimativas são obtidas aplicando-se as formulações numéricas referentes as equações 1 e 2. Essas dependem da obtenção de valores intermediários, por isso, foram utilizadas as equações 3 e 4 para determinar o fator de emissão (EF) e o efluente doméstico orgânico total (TOW_{dom}).

O fator de conversão de metano (MCF) do processo foi calculado aplicando-se os parâmetros preconizados pelo IPCC (2006), Tabela 1. Cada processo que compõe a ETE contribui diferentemente no volume de biogás gerado, que depende de características das reações químicas envolvidas, do tipo de operacionalização (se a vazão segue em série ou em paralelo) e da quantidade de etapas do sistema.

A equação 4 exige a média ponderada do potencial de emissão individual das etapas do sistema. Para tanto, as características da ETE (que possui 6 lagoas, sendo três facultativas e três de maturação após o reator anaeróbico UASB) foram incorporadas aos cálculos cujo resultado está apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 – Emissão de metano por etapas da ETE que produzem GEE

ETAPAS	MCFx	EmissõesCH4	Qdd	%
Digestão anaeróbica	0,8	4,7	1	53,71%
Lagoa facultativa	0,2	2,4	3	20,57%
Lagoa de maturação	0,1	1,2	3	5,14%
MCF TOTAL	0,794			

Fonte: Própria autora, 2021.

Os valores contidos na Tabela 2, possuem parâmetros pré-definidos pelo método do IPCC (2006), que resultam nos fatores de conversão de metano por processo, individualmente, a cada mil pessoas, ao ano, expressos em percentual na última coluna.

Evidencia-se que o reator UASB impacta significativamente na emissão total dos GEE, compreendendo mais de 53% do total estimado.

O percentual de produção de biogás relacionado ao reator UASB está coerente com o que esperava-se obter, uma vez que, sabe-se que processos anaeróbicos favorecem a metanogênese, fase de degradação de matéria orgânica em metano gasoso, por meio das bactérias metanotróficas (LINS, 2010; VERVLOET e CETRULO, 2016; RAMOS et al., 2016; MORAES NETO et. al., 2021).

Nessa pesquisa, ficou evidente a contribuição das lagoas facultativas na produção de metano, aproximadamente, 20%, valor considerável. Fato este que, conforme a literatura, deve-se a profundidade das lagoas que permitem o desenvolvimento das bactérias metanotróficas, apresentando no corpo de fundo um ambiente anóxico favorável a produção de metano. A parte mais superficial da lagoa, age como um sistema rico em oxigênio, favorecendo a degradação direta de carga orgânica em gás carbônico (LIMA e SALVADOR, 2014; MORAES NETO et. al., 2021).

As lagoas de maturação, por apresentarem menor profundidade, constituem um sistema aeróbico onde a produção de CO_2 é favorecida (MORAES NETO et. al., 2021). Portanto, o percentual reduzido de emissão de metano, equivalente a 5,14%, relacionado a esse processo era esperado.

Desse modo, pode-se afirmar que: a digestão anaeróbica privilegia a metanogênese e, conseqüente, produção de metano; e que as lagoas facultativas apresentaram uma taxa de emissão de CH_4 quatro vezes superior à taxa relativa a de maturação, elevando o volume do biogás. Salienta-se que nas etapas onde a produção de metano é abundante, as reações de gás carbônico ocorrem em menor velocidade, e a variável MCF possui valores menores. Entretanto, a queima do biogás gerado, composto por metano irá promover a transformação da molécula em CO_2 , pela reação de combustão química. Desse modo, a produção de metano pode ser relacionada com a de dióxido de carbono.

O processo de combustão do biogás em dióxido de carbono e água ocorre através de reação química com liberação de calor, e reduz o potencial agressivo do gás metano, que é transformado em uma substância com potencial 21 vezes menor de nocividade ambiental. A eficiência do *flare*, conhecido como queimador de biogás, é incluída no método do IPCC (2006). Na ETE – Garanhuns não existe tal equipamento, então nos cálculos dependentes do parâmetro, aplicou-se o valor zero.

As taxas de emissões obtidas na bibliografia podem variar em função da metodologia utilizada para relacionar com o quantitativo de carbono e nitrogênio, compreendendo os gases CO₂, CH₄ e NO_x, os tipos de etapas que compõem o tratamento, eficiência dos equipamentos e máquinas disponíveis, presença ou ausência de *flare*.

Lima e Salvador (2014) analisaram uma determinada ETE, que realizava queima de parte do metano gerado, diferente da ETE – Garanhuns. Além disso, as lagoas facultativas apresentaram uma maior taxa de emissão de metano que as lagoas de maturação. Observando que a taxa de geração de metano é inversamente proporcional que a de CO₂, expressa-se os dados obtidos pelos autores em termos do gás carbônico. Obtiveram 25 tCO₂/1000pessoas/ano para as lagoas aeradas e quase 50 tCO₂/1000pessoas/ano para as lagoas facultativas, onde esperava-se obter menor quantidade de CO₂. Os resultados diferentes do esperado, podem ter relação com a profundidade das lagoas de maturação, atuando com via anóxica o que elevou a produção de metano.

No quadro 2, a seguir, são apresentados os valores fixos que foram aplicados nas equações 2 e 3.

Quadro 2 – Valores fixos e resultantes

SIGLA	DESCRIÇÃO	VALORES	UNIDADES	OBSERVAÇÕES
Pop	População atendida para fins dos cálculos	1000	habitantes	
Ddom	Componente orgânico Degradável*	19,71	kgDBO/1000pessoas/ano	*NBR12209/92 (ABNT, 1992)
B	Capacidade máxima de produção de metano**	0,6	kgCH ₄ /kgDBO	**IPCC

Fonte: Própria autora, 2021.

No quadro 3 a seguir, são apresentados os valores resultantes dos cálculos intermediários, utilizados para a resolução das equações 3 e 4.

Quadro 3 – Valores resultantes de cálculos intermediários

SIGLA	DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
MCFi	Fator de conversão de metano do processo “x”	0,794	ADSS	ADSS - ADIMENSIONAL
WSi,x	Fração do efluente do tipo “i” tratada	1	ADSS	O efluente não se divide ao longo do processo

Fonte: Própria autora, 2021.

Estão relacionados os valores resultantes finais baseados nas equações 1, 2, 3, 4 e 5 no Quadro 4 a seguir, para finalmente encontrar o valor correspondente de emissão de dióxido de carbono.

Quadro 4 – Valores resultantes de cálculos finais

SIGLA	DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÕES
TOW	Estimativa do efluente doméstico orgânico total	19710	kgDBO/ano	
EF	Fator de emissão	0,4764	kgCH ₄ /kgDBO	
R	CH ₄ recuperado ao ano (admitindo eficiência do flare de 50%)	0	kgCH ₄ /ano	Não há queima de gases
CH ₄	Emissão de CH ₄	9389,844	tCH ₄ /ano	O CO ₂ equivalente do metano é igual a 21
N ₂ O	Emissão de N ₂ O	0		Não foram consideradas emissões de N ₂ O
CO ₂	Emissão de CO ₂	197186,7	tCO ₂ /ano	
EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO		197,19 tCO ₂ /hab.ano		

Fonte: Própria autora, 2021.

A emissão de gás carbônico estimada neste estudo, relativa à Estação de Tratamento de Efluentes de Garanhuns, conforme metodologia IPCC(2006) equivale a 197,19 toneladas/habitante por ano, valor próximo ao obtido por Marin (2014). A comparação com outros estudos requer unificação dos padrões de medidas, desse modo, a taxa obtida foi descrita em para cada habitante.

Sabendo-se que, aproximadamente, 18.200 habitantes são atendidos atualmente pelo sistema de esgotamento sanitário no município, isso resulta em uma emissão de 3.588.858,0 toneladas de CO₂ por ano. No caso de expansão do atendimento do serviço de tratamento de efluentes para a população atual do município, em sua totalidade, a taxa de emissão ficaria em torno de 27.606.600,0 toneladas ao ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento dos efluentes domésticos é de suma importância para o desenvolvimento urbano sustentável, estando associado diretamente a qualidade de vida da população que necessita de saneamento básico. Diante disso, este estudo buscou estimar a quantidade de dióxido de carbono emitido durante o processo do tratamento de efluentes na ETE – Garanhuns.

A emissão de CO₂ estimada neste estudo, relativa à Estação de Tratamento de Efluentes de Garanhuns, conforme metodologia IPCC (2006) foi de 197,19 toneladas/habitante por ano. O valor proporcional a população atendida compreende emissão de 3.588.858,0 toneladas de CO₂ por ano. No caso de expansão do atendimento do serviço de tratamento de efluentes para a população atual do município, em sua totalidade, a taxa de emissão ficaria em torno de 27.606.600,0 toneladas ao ano.

Sugere-se investimento público para aquisição de *flare* a ser instalado na estação de tratamento de efluentes objeto desse estudo, para redução da emissão de metano e futuro aproveitamento para obtenção de créditos de carbono, após estudo de viabilidade.

REFERÊNCIAS

- BAO, Z., SUN, S., SUN, D. **Assessment of greenhouse gas emission from A/O and SBR wastewater treatment plants in Beijing, China.** International Biodeterioration & Biodegradation. 2016.
- BAO, Z., SUN, S., SUN, D. **Characteristics of direct CO₂ emissions in four full-scale wastewater treatment plants.** Desalination and Water Treatment. 2015.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** 2021.
- BRASIL. **Presidência da República: informações do Estado brasileiro.** Brasília: [s.n.], 25 abr. 2011.
- COPASA, M. G. et al. **Secretaria de Estado de Turismo.** 2016.
- COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa COPASA – 2014.**
- COROMINAS-FAJA, Bruna et al. **Metabolomic fingerprint reveals that metformin impairs one-carbon metabolism in a manner similar to the antifolate class of chemotherapy drugs.** Aging (Albany NY), v. 4, n. 7, p. 480, 2012.
- DE MORAES NETO, Venancio Ferreira; DA SILVA MELO, Juliana Hellen; SANTOS, André Felipe de Melo Sales. **Eficiência do tratamento de esgotos sanitários no município de Garanhuns–PE após melhorias na estação de tratamento de efluentes.** Revista Geama, v. 7, n. 1, 2021.
- FINE, P., HADAS, E. **Options to reduce greenhouse gas emissions during wastewater treatment for agricultural use.** Science of the Total Environment 416, pp. 289-299, 2012.
- FLORES-ALSINA, Xavier et al. **Including greenhouse gas emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies.** Water Research, v. 45, n. 16, p. 4700-4710, 2011.
- FOLEY, Gláucia Falsarella. **Justiça Comunitária-Por Uma Justiça Da Emancipação.** 2010.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GVCES, FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS; WRI, WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Especificações do programa brasileiro GHG Protocol: contabilização, quantificação e publicação de inventários.** 2010.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M].** Cambridge University Press, Cambridge, pp. 114-143, 2007.

IPCC, International Panel on Climate Change. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japan: IPCC, 2006.

LAW, Yingyu et al. **Fossil organic carbon in wastewater and its fate in treatment plants**. Water research, v. 47, n. 14, p. 5270-5281, 2013.

LIMA, Aline Pereira; SALVADOR, N. N. **Geração de metano e de créditos de carbono no tratamento de esgotos sanitários**. Revista DAE, v. 11, 2014.

LINS, Eduardo Antonio Maia. **Proposição e avaliação de um sistema experimental de processos físicos e químicos para tratamento de lixiviado**. 2011.

MADEIRA, Rodrigo Ferreira. **O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para universalização do acesso**. 2010.

MANNINA, Giorgio et al. **Greenhouse gases from wastewater treatment—A review of modelling tools**. Science of the Total Environment, v. 551, p. 254-270, 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Progress on drinking water and sanitation: special focus on sanitation**, 2008.

PAGANINI, W. S. **Mudanças Climáticas – Programa Corporativo de gestão das Emissões de Gases de Efeito Estufa**. In: Ciclo de Conferências de Gestão Ambiental. São Paulo, SP, 2013. Disponível em: . Acesso em: 24 set .2021.

SANEPAR. **Relatório de Administração e Sustentabilidade 2015**. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/investidores_rel_ian_dfp_itr/ian-dfp-itr/rel_Relat%C3%B3rios%20Trimestrais2015-12-31_0.pdf>. Acesso em: 24 set .2021.

SHAHABADI, M. B., YERUSHALMI, L., HAGHIGHAT, F. **Estimation of greenhouse gas generation in wastewater treatment plants** Model development and application. Chemosphere 78, pp. 1085- 1092, 2010.

VERVLOET, Bruniele; CETRULO, Tiago Balieiro. **Emissões de gases de efeito estufa de estações de tratamento de efluentes domésticos: estudo em uma localidade da Amazônia legal**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 9, n. 3. ce.2016.

YAN, X., LI, L., LIU, J. **Characteristics of greenhouse gas emission in three full-scale wastewater treatment processes**. Journal of Environmental Sciences 26, pp. 256-263, 2014.