

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SARAH SASAKI JURKEVICZ

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA DE TRATAMENTO  
DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: COMPARAÇÃO ENTRE  
SISTEMAS AERÓBIO E ANAERÓBIO

CURITIBA

2017

SARAH SASAKI JURKEVICZ

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA DE TRATAMENTO  
DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: COMPARAÇÃO ENTRE  
SISTEMAS AERÓBIO E ANAERÓBIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de Especialista.  
Orientadora: Profa. Dra. Greyce C. B. Maas

CURITIBA

2017

# EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS AERÓBIO E ANAERÓBIO

Sarah Sasaki Jurkevicz<sup>1</sup>  
Profa. Dra. Greyce C. B. Maas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental, UTFPR Campus Londrina, sarah.jurkevicz@hotmail.com

<sup>2</sup> Tecnologia em Gerenciamento Ambiental, Doutora em Ciências Florestais, UFPR, greyce.maas@gmail.com

## RESUMO

De acordo com a Terceira Comunicação Nacional sobre emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs), o setor de Tratamento de Resíduos foi responsável por 4% do total de CO<sub>2</sub>e emitidos em 2010 pelo Brasil. O principal gás emitido pelo setor é o metano proveniente da disposição de resíduos sólidos e pelo tratamento anaeróbico de efluentes. O objetivo deste estudo foi comparar a emissão anual de GEEs proveniente do tratamento de efluente aeróbico, lodos ativados, com a emissão anual de um tratamento de efluente anaeróbico hipotético, reator UASB, sem recuperação de metano, para avaliar o tratamento de menor impacto sobre o clima. O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de indústria de laticínios localizada no Norte do Estado do Paraná. Foram coletados dados de janeiro a outubro de 2016. A ETE utiliza o sistema de tratamento biológico de lodos ativados, trata aproximadamente 453.359 m<sup>3</sup> de efluente por ano, com DQO média inicial de 2.903 mg.L<sup>-1</sup>. Para calcular as emissões de GEEs do tratamento aeróbico e anaeróbico foi utilizado a metodologia UNFCCC AMS-III.I, versão 18.0. O sistema aeróbico emitiu 9,92 tCH<sub>4</sub>, equivalente a 277,66 tCO<sub>2</sub>e. Já para o tratamento anaeróbico foi estimado a emissão de 25,29 tCH<sub>4</sub> ou 708,18 tCO<sub>2</sub>e. O estudo indicou que o tratamento aeróbico evitou a emissão 430,52 tCO<sub>2</sub>e no ano de 2016 em relação ao sistema anaeróbico, constituindo-se a melhor opção de tratamento do efluente para as duas situações estudadas.

Palavras-chave: mudanças climáticas, metano, lodos ativados, reator UASB.

# GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM THE SYSTEM OF TREATMENT OF EFFLUENTS OF THE LATICINES INDUSTRY: COMPARISON BETWEEN AEROBIC AND ANAEROBIC

## Abstract

According to the Third National Communication about Greenhouse Gas Emissions (GGEs), the Waste Treatment sector accounted for 4% of total CO<sub>2e</sub> emitted in 2010 by Brazil. The objective of this study was to compare the annual emission of GEEs from the treatment of aerobic effluent, activated sludge, with the annual emission of a hypothetical anaerobic effluent treatment, UASB reactor, without methane recovery, to evaluate the treatment with less impact on the climate. The main gas emitted by the sector is methane from solid waste disposal and anaerobic effluent treatment. The study was carried out at the Effluent Treatment Station (ETS) dairy industry located in the North of the State of Paraná. Data were collected from January to October 2016. The ETS uses the biological treatment system of activated sludge, treats approximately 453.359 m<sup>3</sup> of effluent per year, with initial COD of 2.903 mg.L<sup>-1</sup>. To calculate GGEs emissions from aerobic and anaerobic treatment, was used the methodology UNFCCC AMS-III.I, version 18.0. The aerobic system emitted 9,92 tCH<sub>4</sub>, equivalent to 277,66 tCO<sub>2e</sub>. The anaerobic treatment emitted 25,29 tCH<sub>4</sub> or 708,18 tCO<sub>2e</sub>. The study indicated that the aerobic treatment avoided the emission 430,52 tCO<sub>2e</sub> in the year of 2016 in relation to the anaerobic system constituting the best treatment option of the effluent for the two situations studied.

.

Keywords: climate changes, methane, activated sludge, UASB reactor.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO .....	8
2.2. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO CONSIDERADOS NO ESTUDO .....	10
2.3. ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA AERÓBIO .....	12
2.3.1 Emissões decorrentes do consumo de eletricidade .....	13
2.3.2. Emissões do tratamento aeróbio do efluente .....	14
2.3.3. Emissões de metano do efluente final .....	16
2.4. ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA ANAERÓBIO .....	16
2.4.1. Produção de metano do tratamento anaeróbio .....	17
2.4.2. Emissões de metano do efluente final .....	18
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
3.1. SISTEMA DE TRATAMENTO AERÓBIO .....	19
3.2. SISTEMA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO .....	20
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>22</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A concentração dos Gases de Efeito Estufa (GEEs) na atmosfera terrestre tem aumentado consideravelmente em decorrência das atividades antrópicas iniciadas por volta do ano 1750 (BRASIL, 2016a). Estudos apontam que o aquecimento do planeta tem ocorrido de forma incomum a partir do advento industrial (IPCC, 2013). Para minimizar o aquecimento global os países têm buscado alternativas para reduzir e mitigar suas emissões de GEEs.

Segundo a terceira comunicação nacional do Brasil sobre mudança do clima, as emissões antrópicas de GEEs do país em 2010 foram de 1.271.399 Gg de CO<sub>2</sub>e (metodologia GWP SAR). O setor de tratamento de resíduos foi responsável pela emissão de 54.127 Gg de CO<sub>2</sub>e (metodologia GWP SAR), aproximadamente 4% do total de CO<sub>2</sub>e emitidos. No período de 1990 a 2010 o setor aumentou suas emissões em 48% (BRASIL, 2016a).

Analisando as emissões líquidas por setor e subsetores das atividades antrópicas geradas em 2010, o tratamento de resíduos foi responsável por 8% das emissões de metano (CH<sub>4</sub>), 1,3% das emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e não apresentou valor significativo para as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (BRASIL, 2016a).

O setor de tratamento de resíduos abrange a disposição de resíduos sólidos e tratamento de efluentes (BRASIL, 2016a). Os efluentes podem ser tratados por processos físico-químicos e/ou biológicos, sendo que o tratamento biológico pode ocorrer por via aeróbia ou anaeróbia. Efluentes com elevada carga orgânica têm um grande potencial de emissão de gás metano. Quantidades significativas desse gás são produzidas no tratamento anaeróbio de efluentes (BRASIL, 2016c).

O tratamento anaeróbio de efluentes tem como principal subproduto o biogás. Entre seus componentes o CH<sub>4</sub> corresponde de 50 a 72% (BRASIL, 2015b). Segundo a Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016c) a emissão de CH<sub>4</sub> pelo tratamento de efluente industrial aumentou 60,4% de 2005 a 2010, variando de 82,6 a 622,9 Gg CH<sub>4</sub>.

O CH<sub>4</sub> é o principal gás de efeito estufa do setor de resíduos, tem potencial de aquecimento global 28 vezes superior ao do CO<sub>2</sub> (BRASIL, 2016c), possui

grande potencial energético, podendo ser utilizado como fonte de energia elétrica, térmica e em substituição ao gás natural (BRASIL, 2015a).

O tratamento aeróbio de efluentes consiste na degradação da matéria orgânica por organismos aeróbios que utilizam o oxigênio dissolvido presente no meio. Nesse processo a matéria orgânica é convertida em energia, CO<sub>2</sub> e água. Sistemas aeróbios demandam grandes quantidades de energia elétrica, devido à introdução de oxigênio dissolvido no meio (METCALF e EDDY, 2016). Para alcançar padrões de remoção da carga orgânica e nutrientes mais restritivos, tem sido utilizado o sistema de lodos ativados, com eficiência de remoção de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) de 85% (METCALF e EDDY, 2016).

O setor lácteo no Brasil representa 10,2% do valor econômico da indústria de alimentos e bebidas, em 2007 o valor bruto da produção industrial foi de 25,9 bilhões de reais (IPARDES, 2010). O Estado do Paraná é o terceiro maior produtor nacional de leite, o setor apresenta crescimento tanto na produção leiteira como na produção industrial. Segundo o IBGE de 2009 foram produzidos 3,3 bilhões de litros de leite e cerca de 2,1 bilhões de litros foram processados no ano. Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego, o Paraná possui 275 estabelecimentos formais produtores de lácteos (IPARDES, 2010).

O efluente gerado pela indústria de laticínios possui elevada carga orgânica, apresentando alto potencial para a produção de biogás (BRASIL, 2015b). Explorar energeticamente o biogás contribui para a redução de emissões de CH<sub>4</sub> para a atmosfera (BRASIL, 2016c).

Diante disso, o objetivo do estudo foi comparar as emissões de gases de efeito estufa gerados no tratamento aeróbio por lodos ativados de uma indústria de laticínios do Norte do Paraná com as emissões de um tratamento anaeróbio hipotético em reator UASB sem recuperação de metano, para avaliar o tratamento de menor impacto sobre o clima.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO**

O estudo das emissões de gases de efeito estufa gerados na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) foi realizado em uma empresa de laticínios localizada na região Norte do Estado do Paraná. O objeto de estudo é uma cooperativa agropecuária, com mais de 30 anos de história no setor de lácteos.

Por dia são processados 700 mil litros de leite, oriundo de 4,5 mil produtores de leite do estado do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. A empresa conta com a colaboração de 500 funcionários e a fábrica funciona 24 horas nos 365 dias do ano.

Entre os produtos lácteos fabricados estão: leite em pó, leite UHT, leite pasteurizado, iogurtes, bebidas lácteas e creme de leite. Na Figura 1 esta apresentado o fluxograma simplificado do processo produtivo do leite cru e pasteurizado, indicando os efluentes gerados em cada etapa do processo.



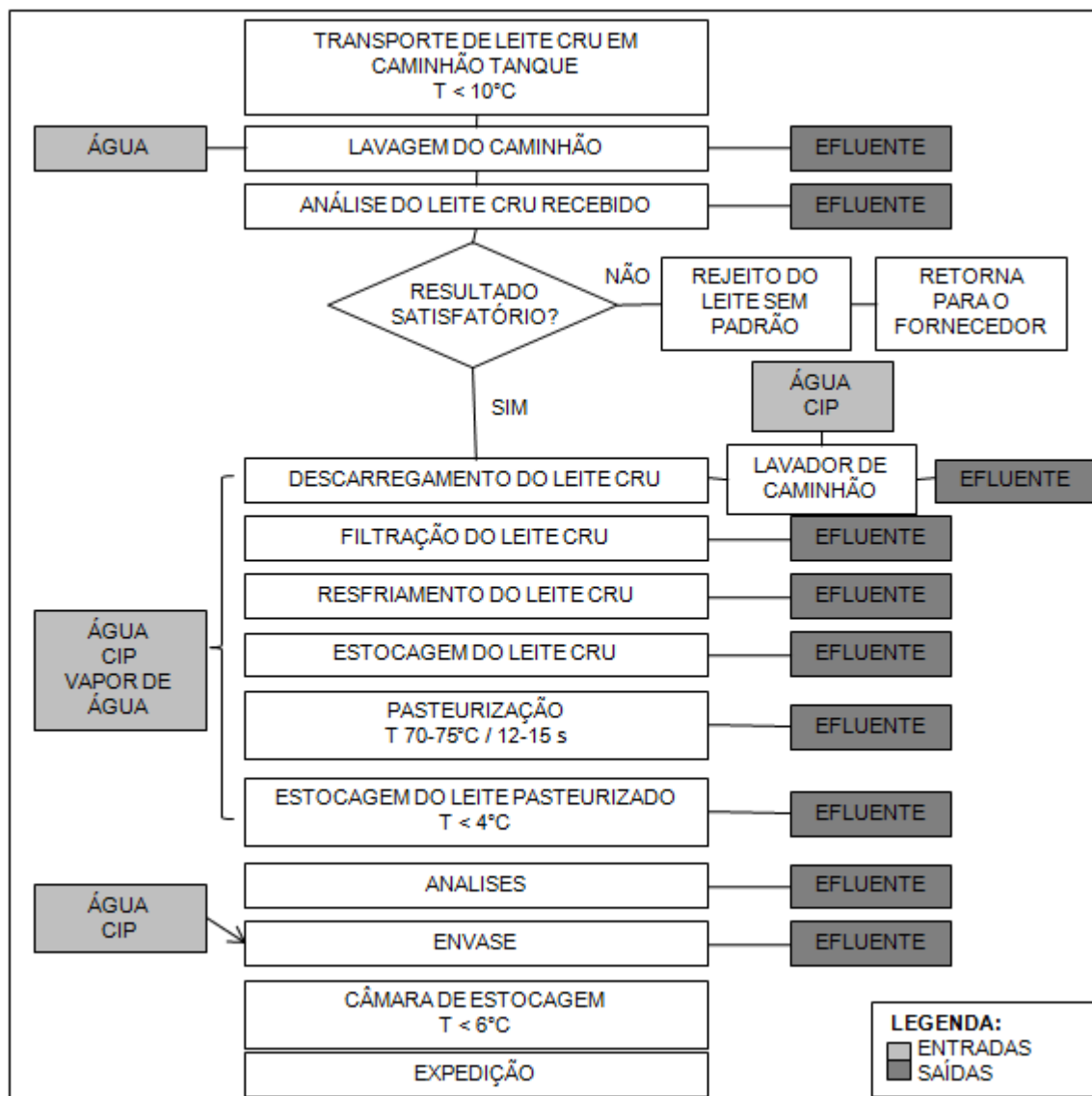


FIGURA 1. Fluxograma do processo produtivo do leite cru e pasteurizado da indústria de laticínios, mostrando o efluente gerado em cada etapa do processo.

FONTE: O autor (2017).

NOTA: CIP: Clean In Place, método utilizado em plantas de processamento de alimentos para a limpeza de máquinas e equipamentos de processamento.

O efluente tratado na estação de tratamento da indústria de laticínios é composto por água de higienização dos equipamentos, que contém resíduos de limpeza como sabão neutro, hidróxido de sódio e sanitizante (ácido peracético), leite e resíduos do leite, conforme Figura 1.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO CONSIDERADOS NO ESTUDO

O sistema de tratamento de efluente existente na indústria de laticínios é composto pelo tratamento preliminar, com sistema de gradeamento para retenção de sólidos grosseiros como plástico e papéis. Em seguida, o efluente passa por tratamento primário, para retenção dos sólidos sedimentáveis com a ação físico-química em um flotor, nesta etapa grande parte da matéria orgânica é removida com os sólidos. O tratamento secundário é composto pelo sistema de lodos ativados seguido de duas lagoas facultativas. Na Figura 2 está apresentado o fluxograma simplificado da estação de tratamento de efluentes da indústria de laticínios.

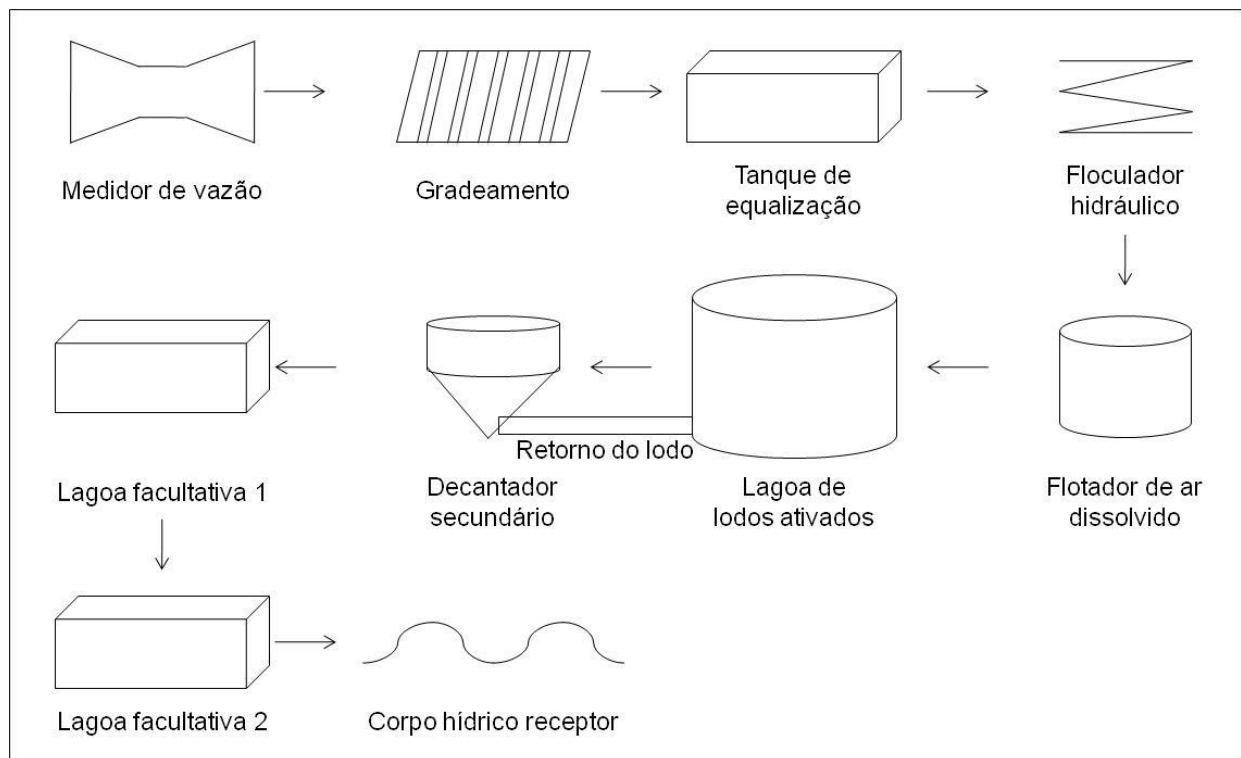


FIGURA 2. Fluxograma da estação de tratamento de efluente aeróbio, existente na indústria de laticínios do Norte do Paraná.

FONTE: O autor (2017).

O lodo gerado na lagoa de lodos ativados é recirculado, resultando em uma matéria orgânica estabilizada. O lodo residual é adensado em uma centrífuga e enviado para disposição no solo, como fonte de nutrientes. Segundo a metodologia UNFCCC AMS-III.I (2009) se o lodo gerado é utilizado para aplicação

no solo, as emissões de metano podem ser negligenciadas. Por isso, não foram consideradas emissões de metano para tratamento e disposição final do lodo.

Para comparar as emissões de GEEs entre o tratamento aeróbio e o tratamento anaeróbio, foi criado um sistema de tratamento anaeróbio hipotético, conforme ilustra a Figura 3. A lagoa de lodos ativados e o decantador secundário foram substituídos pelo reator anaeróbio UASB.

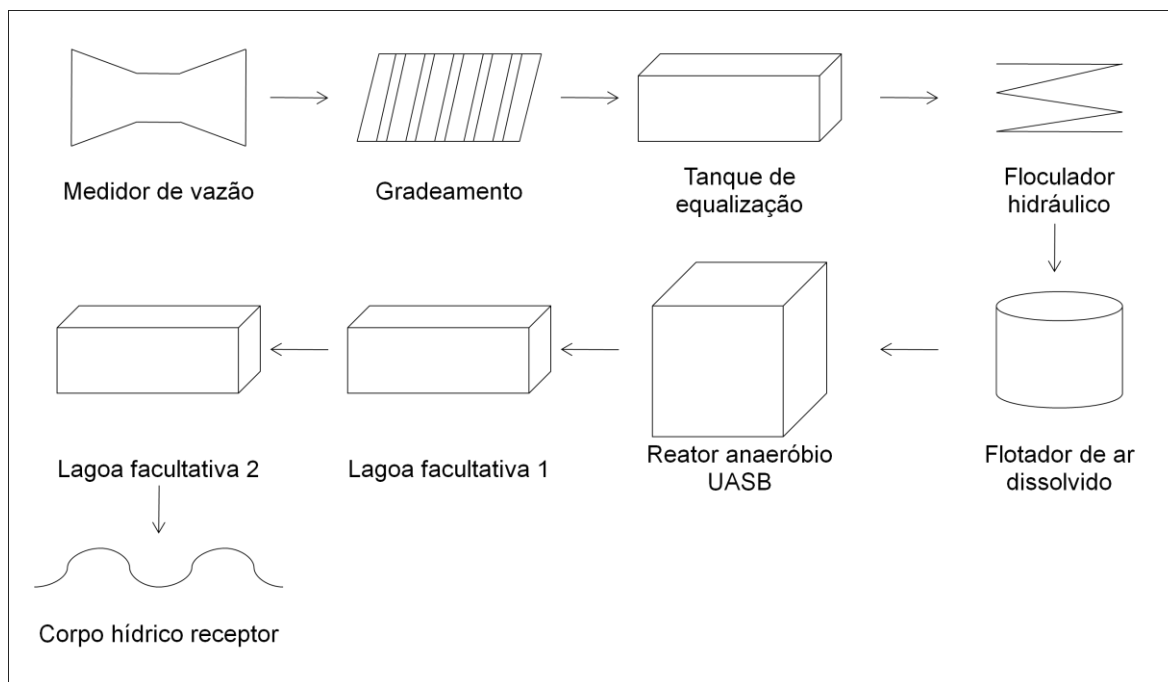


FIGURA3. Fluxograma da estação hipotética de tratamento de efluente anaeróbio.  
 FONTE: O autor (2017).

Devido ao elevado tempo de permanência do lodo no reator UASB, a matéria orgânica gerada é estabilizada, dispensando a etapa de tratamento de lodo antes de sua disposição final. Para efeito de cálculo da emissão do tratamento anaeróbio hipotético, foi considerado que o lodo gerado era adensado em centrífuga e encaminhado para disposição no solo como fonte de nutrientes. Por isso, foram desconsideradas as emissões referentes ao tratamento e disposição final do lodo para o sistema anaeróbio.

### 2.3. ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA AERÓBIO

A estimativa de emissão de GEEs para o sistema de tratamento de efluente aeróbio da indústria de laticínios foi realizado segundo a metodologia aprovada da UNFCCC AMS-III.I, versão 8, validada em julho de 2009.

Para a estimativa anual das emissões de GEEs do sistema de tratamento aeróbio foram utilizados dados obtidos *in loco* do período de janeiro a outubro de 2016. Para os meses de novembro e dezembro, foram utilizados valores médios dos meses anteriores. Não foi possível obter os dados da estação durante os 12 meses devido ao cronograma da pesquisa. Os dados utilizados no presente estudo estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros referente ao tratamento de efluente, aferidos pela ETE da indústria de laticínios do Norte do Estado do Paraná.

Parâmetro	Eletricidade consumida ETE	Volume de água residuária tratada	DQO efluente inicial	DQO entrada lodo ativado	DQO saída lagoa de polimento
Unidade	MWh/mês	m <sup>3</sup> /mês	ton/m <sup>3</sup>	ton/m <sup>3</sup>	ton/m <sup>3</sup>
jan/16	133,01	50.078,64	0,00308	0,000599	0,000042
fev/16	165,33	37.688,40	0,00473	0,000035	0,000052
mar/16	173,98	35.578,08	0,00192	0,000525	0,000046
abr/16	117,03	33.206,40	0,00191	0,000331	0,000022
mai/16	119,65	33.636,24	0,00558	0,00035	0,000009
jun/16	112,02	32.940,00	0,00248	0,000373	0,000013
jul/16	122	39.238,56	0,00207	0,000759	0,000029
ago/16	127,6	41.790,48	0,00269	0,000785	0,000023
set/16	127,93	38.779,20	0,00207	0,000759	0,000029
out/16	131,28	34.878,72	0,0025	0,000657	0,0000235
nov/16	133,16	37.152,72	0,002903	0,000517	0,0000289
dez/16	133,16	38.391,14	0,002903	0,000517	0,0000289
<b>Média</b>	133,01	37779,88	0,002903	0,000517	0,000029
<b>Total anual</b>	1.596,16	453.358,58	-	-	-

FONTE: O autor (2017).

A ETE possui o sistema aeróbio de lodos ativados. Segundo a metodologia adotada, as emissões de GEEs podem ser estimadas conforme a Equação 1.

$$PE_y = PE_{energia,y} + PE_{ww,tratamento,y} + PE_{ww,descarga,y} + PE_{s,final,y} \quad (1)$$

Em que:

$PE_y$	Emissão da atividade de projeto no ano “y” (tCO <sub>2</sub> e)
$PE_{energia,y}$	Emissões decorrentes do consumo de eletricidade no ano “y” (tCO <sub>2</sub> e)
$PE_{tratamento,y}$	Emissões do sistema de tratamento aeróbio de água residual no ano “y” (tCO <sub>2</sub> e)
$PE_{ww,descarga,y}$	Emissões de metano devido a presença de carbono orgânico degradável nos efluentes dispostos no corpo hídrico receptor (tCO <sub>2</sub> e)
$PE_{s,final,y}$	Emissões de metano da degradação anaeróbia do lodo final produzido no ano y (t CO <sub>2</sub> e)

Segundo a metodologia UNFCCC AMS-III.I (2009), as emissões provenientes da decomposição anaeróbia do lodo final para aplicação no solo podem ser desconsideradas. Sendo assim, a Equação 1 pode ser simplificada conforme a Equação 2.

$$PE_y = PE_{energia,y} + PE_{ww,tratamento,y} + PE_{ww,descarga,y} \quad (2)$$

### 2.3.1 Emissões decorrentes do consumo de eletricidade

As emissões de GEEs decorrentes do consumo de energia elétrica ( $PE_{power,y}$ ) foram determinadas de acordo com o guia fornecido pela metodologia UNFCCC AMS-I.C: produção de energia térmica com ou sem eletricidade, versão 20.0, validada em janeiro de 2015, Equação 3.

$$PE_{energia,y} = \sum EC_{m,y} \times EF_{m,y} \quad (3)$$

Em que:

$PE_{energia,y}$	Emissões decorrentes do consumo de eletricidade no ano “y” (tCO <sub>2</sub> e)
$EC_{m,y}$	Eletricidade consumida pela ETE no mês “m” no ano “y” (MWh/ano, Tabela 1)
$EF_{m,y}$	Fator de emissão de CO <sub>2</sub> para energia elétrica gerado do

mês “m” no ano “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh)

Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> relacionados ao consumo de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional para o ano de 2016 estão apresentados na Tabela 2. Os fatores são referentes a inventários corporativos, e foram utilizados porque a estimativa de emissão de GEEs da ETE é referente a uma planta em operação. Os dados foram extraídos do site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Comunicação (2017).

TABELA 2. Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>/MWh), pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil em 2016:

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
$\frac{tCO_2}{MWh}$	0,096	0,082	0,071	0,076	0,07	0,076
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\frac{tCO_2}{MWh}$	0,072	0,084	0,09	0,092	0,1	0,071

FONTE: Ministério da Ciência, Tecnologia e Comunicação (2017).

### 2.3.2. Emissões do tratamento aeróbio do efluente

As emissões de metano referentes à degradação da matéria orgânica no sistema de tratamento aeróbio ( $PE_{ww,treatment}$ ) foram calculadas segundo a metodologia UNFCCC AMS-III.I (2009), conforme a Equação 4.

$$PE_{ww,treatment,y} = \sum(Q_{ww,y} \times DQO_{removida,y} \times MCF_{aeróbio}) \times B_o \times UF_{PJ} \times GWP_{CH_4} \quad (4)$$

Em que:

$PE_{ww,treatment,y}$  Emissões do tratamento aeróbio de água residual no ano “y” (tCO<sub>2</sub>e)

$Q_{ww,y}$  Volume de água residual tratada durante o ano “y” (453.358,58 m<sup>3</sup>)

$DQO_{removida,y}$  Demanda química de oxigênio do efluente entrando nas lagoas no ano “y” (0,00049 t/m<sup>3</sup>)

$MCF_{aeróbio}$  Fator de correção de metano para o tratamento de água residual em sistemas aeróbios (0,1 - Tabela 3)

$B_o$  Capacidade de produção de metano para a água residual (0,21 kg CH<sub>4</sub>/kg COD – IPCC 2006)

$UF_{PJ}$	Fator de correção da incerteza do modelo (1,06- UNFCCC AMS-III.I 2009)
$GWP_{CH_4}$	Potencial de aquecimento global para o CH <sub>4</sub> (28 - Terceira Comunicação Nacional 2016)

O Fator de Correção do Metano (MCF) foi obtido do guia fornecido pela metodologia aprovada UNFCCC AMS-III.H: recuperação de metano no tratamento de águas residuárias, versão 18, validada em outubro de 2015, conforme Tabela 3.

TABELA 3. Valores padrão do IPCC para o fator de correção de metano (MCF).

<b>Tipo de tratamento de efluente e disposição final</b>	<b>Valor <i>MCF</i></b>
Descarga do efluente no oceano, rio ou lago	0,1
Aplicação no solo	0,1
Tratamento aeróbico, bem gerido	0,0
Tratamento aeróbico, mal gerido ou sobrecarregado	0,3
Digestor anaeróbico de lodo sem recuperação de metano	0,8
Reator anaeróbico sem recuperação de metano	0,8
Lagoa anaeróbica rasa (profundidade menor que 2 metros)	0,2
Lagoa anaeróbica funda (profundidade maior que 2 metros)	0,8
Sistema séptico	0,5
Aplicação no solo	0,1

FONTE: UNFCCC AMS-III.H (2015).

O valor de MCF no tratamento aeróbico varia de 0,0 a 0,3. As emissões de metano em sistemas aeróbios podem ocorrer devido aos bolsões anaeróbios que podem eventualmente ocorrer em lagoas aeradas. Na ETE estudada a aeração é realizada por agitadores mecânicos, por isso, foi adotado 0,1 como valor de MCF para tratamento aeróbico.

Como na ETE não é monitorado a DQO de saída da lagoa de lodos ativados, foi considerado para achar o valor da DQO<sub>removida</sub> o valor da DQO de entrada de lodos ativados menos o valor da DQO de saída da lagoa de polimento.

### 2.3.3. Emissões de metano do efluente final

As emissões de GEEs emitidas pelo efluente disposto no corpo hídrico receptor são provenientes da degradação do carbono orgânico residual. Segundo a metodologia UNFCCC AMS-III.I (2009), as emissões do efluente final podem ser calculadas conforme a Equação 5.

$$PE_{ww,descarga,y} = Q_{ww,y} \times GWP_{CH_4} \times B_o \times UF_{PJ} \times DQO_{ww,descarga,y} \times MCF_{aeróbico} \quad (5)$$

Em que:

$Q_{ww,y}$	Volume do efluente tratado por ano (453.358,58 m <sup>3</sup> )
$COD_{ww,descarga,y}$	Demanda química de oxigênio do efluente final tratado disposto no corpo hídrico receptor (0,00003 t/m <sup>3</sup> )
$MCF_{aeróbico}$	Fator de correção de metano baseado na disposição do efluente final em rio (0,1 - Tabela 3)

### 2.4. ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SISTEMA ANAERÓBIO

A estimativa de emissão de GEEs para o sistema de tratamento anaeróbio do efluente industrial também foi realizada segundo a metodologia aprovada da UNFCCC AMS-III.I (2009).

Para calcular as emissões provenientes do sistema de tratamento anaeróbio com reator UASB sem recuperação de metano, foram utilizados os dados de vazão e DQO inicial do efluente (Tabela 1). Os demais parâmetros necessários para calcular as emissões de GEEs foram estimados conforme dados da literatura.

As emissões de GEEs gerados pelo sistema de tratamento anaeróbio podem ser calculadas conforme a Equação 6.

$$BE_y = BE_{ww,tratamento,y} + BE_{ww,descarga,y} \quad (6)$$

Em que:

$BE_y$	Emissão do sistema de tratamento anaeróbio, no ano “y”
--------	--



	(tCO <sub>2</sub> e)
$BE_{ww,tratamento,y}$	Metano produzido do sistema de tratamento anaeróbio, no ano “y” (tCO <sub>2</sub> e)
$BE_{ww,descarga,y}$	Emissões de metano devido ao carbono orgânico degradável presente no efluente disposto no corpo hídrico receptor, no ano “y” (tCO <sub>2</sub> e)

#### 2.4.1. Produção de metano do tratamento anaeróbio

As emissões do tratamento anaeróbio de águas residuais foram estimadas conforme a Equação 7.

$$BE_{ww,tratamento,y} = \sum_{i,y} (Q_{ww,y} \times DQO_{removida,i,y} \times MCF_{anaeróbio,i,y}) \times B_o \times UF_{BL} \times GWP_{CH_4} \quad (7)$$

Em que:

$Q_{ww}$	Volume de águas residuais tratadas no ano “y”, com temperatura ambiente média acima de 15°C (453.358,58 m <sup>3</sup> )
$DQO_{removida,i,y}$	Demanda química de oxigênio removida pelo tratamento anaeróbio de águas residuais do sistema i, no ano “y”, com temperatura média acima de 15°C (reator UASB: 0,00035 t/m <sup>3</sup> )
$i$	Índice para o sistema de tratamento de águas residuais (reator UASB)
$MCF_{anaeróbio,i,y}$	Fator de correção do metano para o tratamento anaeróbio de águas residuais do sistema i (0,8 - Tabela 3)
$B_o$	Capacidade de produção de metano para as águas residuais (0,21 kgCH <sub>4</sub> /kgDQO - IPCC 2006)
$UF_{BL}$	Fator de correção para as incertezas do modelo (0,94 - UNFCCC AMS-III.I 2009)
$GWP_{CH_4}$	Potencial de aquecimento global para o CH <sub>4</sub> (28 - Terceira Comunicação Nacional 2016)

Segundo Von Sperling (2005) a eficiência média de remoção da DQO dos efluentes tratados em reatores UASB está compreendida entre 60 a 75%. Para estimar o valor da DQO<sub>removida</sub> do tratamento anaeróbio, adotou-se uma eficiência de remoção de DQO de 68% para tratamento em reator UASB.

#### 2.4.2. Emissões de metano do efluente final

A emissão de GEEs proveniente do carbono orgânico degradável presente no efluente final disposto no corpo hídrico receptor, foi determinado conforme a Equação 8.

$$\begin{aligned}
 BE_{ww,discarga,y} & & (8) \\
 &= Q_{ww,y} \times GWP_{CH_4} \times B_o \times UF_{BL} \times DQO_{ww,discarga,BL} \\
 &\quad \times MCF_{ww,discarga,BL}
 \end{aligned}$$

Em que:

$Q_{ww,y}$	Volume de águas residuais tratadas no ano “y” (453.358,58 m <sup>3</sup> )
$UF_{BL}$	Fator de correção para as incertezas do modelo (0,94 UNFCCC AMS-III.I 2009)
$DQO_{ww,discarga,BL}$	Demanda química de oxigênio do efluente tratado disposto no corpo hídrico receptor (0,000012 t/m <sup>3</sup> )
$MCF_{ww,discarga,BL}$	Fator de correção do metano baseado na disposição final do efluente no rio (0,1 - Tabela 3)

Conforme o fluxograma da ETE anaeróbia (Figura 3), o efluente após ser tratado no reator UASB é enviado para duas lagoas facultativas em série. A eficiência média de remoção da DQO do efluente em lagoa facultativa é de 65 a 80% (VON SPERLING, 2005). Para estimar o valor da DQO<sub>removida</sub> em cada lagoa facultativa foi adotado uma eficiência de remoção de 73%. Esta consideração foi importante para calcular a DQO do efluente final disposto no corpo hídrico receptor.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. SISTEMA DE TRATAMENTO AERÓBIO

As emissões de CO<sub>2</sub>e referentes ao consumo de energia elétrica mensal consumido pela ETE estão presentes na Figura 4.

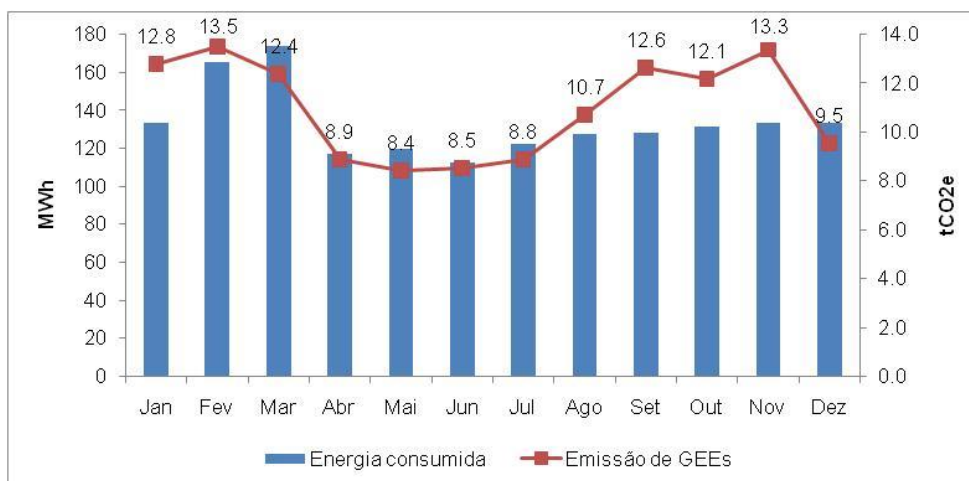


FIGURA 4. Emissão de CO<sub>2</sub>e referentes ao consumo de energia elétrica da ETE da indústria de laticínios.

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Não foi possível obter o consumo de energia elétrica individual das unidades de tratamento que compõe o sistema, devido à indisponibilidade de dados.

As emissões devido ao consumo de energia elétrica variaram entre 8 e 14 tCO<sub>2</sub>e por mês, resultando em um total anual de 131,49 tCO<sub>2</sub>e, representam 47% das emissões atmosféricas totais da ETE. O consumo de energia elétrica em tratamento aeróbio é elevado devido à demanda de energia para manter o sistema aeróbio (METCALF e EDDY, 2016).

As emissões de GEEs calculadas em tCO<sub>2</sub>e para cada fonte de emissão do sistema de tratamento de efluente aeróbio estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Emissão anual de GEEs do sistema de tratamento aeróbio da indústria de laticínios, referente às diferentes fontes de emissão que compõe o sistema de tratamento no ano de 2016.

Sistema de tratamento aeróbio	t CO <sub>2</sub> e
Consumo de energia elétrica	131,49
Tratamento aeróbio do efluente	138,02
Efluente final (DQO residual)	8,15
<b>Total</b>	<b>277,66</b>

FONTE: O autor (2017).

Considerando a possibilidade de existir “zonas mortas” - áreas anaeróbias na lagoa de lodos ativados, o processo de degradação da carga orgânica ocorrida no sistema de lodos ativados foi responsável por 138,02 tCO<sub>2</sub>e no ano de 2016, cerca de 50% das emissões totais desse sistema. A elevada eficiência na remoção de DQO desse sistema possibilitou que a emissão decorrente da degradação da matéria orgânica residual presente no efluente final disposto no corpo hídrico receptor fosse a menos representativa entre as fontes de emissão avaliadas. A emissão de GEEs gerado pela degradação da matéria orgânica residual presente no efluente final disposto no corpo hídrico foi de 8,15 tCO<sub>2</sub>e.

A partir da Tabela 4 é possível verificar a importância que a matriz energética e a qualidade do efluente final têm para uma boa gestão dos GEEs da ETE. Reduzir a carga orgânica do efluente, não é necessário apenas para atender os padrões de lançamento de efluentes (Resolução CONAMA nº 430/2011), mas também para minimizar emissões de GEEs. Com relação à energia requerida pela ETE, buscar fontes de energias renováveis com menores fatores de emissão de CO<sub>2</sub>e contribuiria para minimizar os GEEs liberados na atmosfera.

As emissões totais de GEEs da estação de tratamento de efluentes da indústria de laticínios foi de 277,66 tCO<sub>2</sub>e para o ano de 2016.

### 3.2. SISTEMA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO

As emissões de GEEs calculadas em tCO<sub>2</sub>e para cada fonte de emissão do sistema de tratamento de efluente anaeróbio estão expressas na Tabela 5.

TABELA 5. Emissão anual de GEEs da ETE com sistema anaeróbio hipotético da indústria de laticínios, referente às diferentes fontes de emissão que compõe o sistema de tratamento no ano de 2016.

<b>Sistema de tratamento anaeróbio</b>	<b>t CO<sub>2</sub>e</b>
Tratamento anaeróbio do efluente	705,16
Efluente final (DQO residual)	3,02
<b>Total</b>	<b>708,18</b>

FONTE: O autor (2017).

O processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica em reator UASB emitiria 705,16 tCO<sub>2</sub>e no ano de 2016, perfazendo mais de 99% das emissões do sistema de tratamento, conforme Tabela 5.

Considerando as eficiências de remoção da DQO adotada para o tratamento anaeróbio, o efluente final teria uma DQO de 12,07 mg.L<sup>-1</sup>, resultando nas baixas emissões do efluente final devido a degradação da matéria orgânica no corpo hídrico receptor, a emissão de GEEs estimada foi de 3,02 tCO<sub>2</sub>e conforme Tabela 5.

Dentre os componentes do biogás gerado no tratamento anaeróbio, o gás metano representa relevante fonte de impactos sobre o clima, cerca de 50 a 72% do biogás é composto por ele. No entanto, o CH<sub>4</sub> possui diversas aplicações de caráter energético que minimizam seu impacto sobre o clima. Entre as diferentes aplicações estão: produção de calor de processo para secagem do lodo em ETE, combustível de um motor estacionário de combustão interna a gás, produção de energia elétrica, combustível veicular (BRASIL, 2016b; BRASIL, 2015b).

Um grande diferencial para o aproveitamento do gás metano em ETE é que sua produção ocorre em um local confinado, facilitando a captação para posterior uso (BRASIL, 2016b). Utilizando um queimador de chama aberta, seria possível reduzir em 50% as emissões de metano, evitando a emissão de 355,38 tCO<sub>2</sub>e (UNFCCC AMS-III.H – METHODOLOGICAL TOOL “PROJECT EMISSIONS FROM FLARING”, VERSION 02.0.0).

A emissão total calculada para o sistema de tratamento anaeróbio sem recuperação de metano foi de 708,18 tCO<sub>2</sub>e para o ano de 2016. Comparando a emissão anual GEEs emitidos nos dois sistemas de tratamento de efluente, o tratamento aeróbio evitou a emissão de 430,52 tCO<sub>2</sub>e.

#### 4. CONCLUSÕES

O tratamento aeróbio apresentou uma emissão estimada de 9,92 tCH<sub>4</sub>, equivalente a 277,66 tCO<sub>2e</sub>, enquanto a estimativa da emissão do tratamento anaeróbio foi de 25,29 tCH<sub>4</sub> ou 708,18 tCO<sub>2e</sub>.

Estudar as emissões geradas pela ETE da indústria de laticínios contribuiu para identificar oportunidades de minimizar as emissões de GEEs na atmosfera. A partir do estudo concluiu-se que o tratamento anaeróbio sem recuperação de metano é um importante emissor de GEEs, por isso, deve-se considerar mecanismos de recuperar e utilizar o potencial energético do mesmo, a fim de minimizar seu efeito adverso ao clima. O tratamento aeróbio evitou a emissão de mais de 433 tCO<sub>2e</sub>, constituindo-se a melhor opção de tratamento do efluente para as duas situações estudadas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio recebido.

Agradeço à indústria de laticínios do norte do Paraná pelo fornecimento dos dados da estação de tratamento de efluente, pela atenção recebida nas visitas técnicas.

Agradeço em especial a minha orientadora Profa. Dra. Greyce Maas pelas contribuições, sugestões e por sempre estar presente na elaboração do trabalho.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016a.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume II/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016b.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016c.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Catálogo de Tecnologias e Empresas de Biogás / Probiogás;** organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Elisa Thieme ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015a.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás / Probiogás;** organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Oliver Jende ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015b.

IPARDES. **Caracterização da indústria de processamento e transformação do leite no Paraná / Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social e Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural.** Curitiba : IPARDES, 2010. 92 p. Disponível em: < [http://www.ipardes.gov.br/pdf/caracterizacao\\_industria\\_leite.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/caracterizacao_industria_leite.pdf)>. Acesso em: 10 novembro de 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Eds.: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

METCALF e EDDY. **Tratamentos de efluentes e recuperação de recursos.** Tradução: Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.



UNFCCC. AMS-I.C.: Small-scale Methodology. Thermal energy production with or without electricity. Version 20.0. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/JSEM51TG3UVKADPA25IPUHXJ85HE8A>>. Acesso em: 15 de outubro de 2016.

UNFCCC. AMS-III.H: Methane recovery in wastewater treatment. Version 18.0. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/5JGU2EUK716KG3UAE2HBVCK16K199K>>. Acesso em: 15 de outubro de 2016.

UNFCCC. AMS-III.H: Methodological tool "Project emissions from flaring". Version 02.0.0. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/5JGU2EUK716KG3UAE2HBVCK16K199K>>. Acesso em: 15 de outubro de 2016.

UNFCCC. AMS-III.I: Avoidance of methane production in wastewater treatment through replacement of anaerobic systems by aerobic systems. Version 8.0. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/Z5A2LR9Q7XS906TDS4XDC8MKORZ63R>>. Acesso em: 15 de outubro de 2016.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.