

## II-209 - VIABILIDADE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM COGERAÇÃO COM BIOGÁS EM DIFERENTES ESCALAS DE SUPRIMENTO DE ENERGIA – DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES

### Rodrigo Alves dos Santos Pereira<sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Especialista de Pesquisa e Tecnologia do Grupo Águas do Brasil S/A.

### Magali Christe Cammarota<sup>(2)</sup>

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. D.Sc. em Bioquímica (IQ/UFRJ). Professor Associado do Departamento de Engenharia Bioquímica, Escola de Química/UFRJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Marquês do Paraná, 110 - Centro - Niterói - RJ - CEP: 24030-211 - Brasil - Tel: (21) 2729-9200 - e-mail: rodrigo.pereira@grupoaguasdobrasil.com.br

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Av. Athos da Silveira Ramos, nº 149, Centro de Tecnologia – Escola de Química, Bloco E, Sala 203 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: +55 (21) 3938-7568 - e-mail: christe@eq.ufrj.br

### RESUMO

O setor de saneamento é um dos mais carentes no Brasil, principalmente no que diz respeito ao tratamento de esgotos, pois apenas 39% dos brasileiros possuem acesso a este serviço. Além disso, os sistemas de saneamento são extremamente dependentes do setor energético, que por sua vez é fortemente alicerçado nos recursos hídricos. O que, nos períodos de escassez de água, leva a instabilidades nos sistemas e dificuldades na continuidade dos serviços. Dessa forma, com a finalidade de produzir energia, este estudo propôs avaliar o aproveitamento de gás metano produzido em dois diferentes modelos de estação de tratamento de esgoto para populações variando entre 50.000 e 500.000 habitantes. Os modelos adotados foram um sistema com reator anaeróbio do tipo UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) seguido de Lodo Ativado, e o outro um Lodo Ativado com Digestão Anaeróbia do lodo. Para realizar o trabalho, foram dimensionados os sistemas de tratamento, os custos de implantação dos projetos, os custos de operação dos sistemas e a projeção de receita com o serviço de tratamento de esgoto. Os cálculos apontaram uma maior capacidade de geração de metano por parte dos reatores UASB, o que lhes confere uma capacidade de produção energética maior. No entanto, é preciso olhar com atenção a realidade dos reatores UASB já implantados no Brasil, uma vez que os problemas de execução das obras civis resultam em grandes vazamentos de gás.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo, Esgoto, Digestão Anaeróbia, Biogás.

### INTRODUÇÃO

Um país em desenvolvimento possui diversos desafios para manter a infraestrutura necessária para continuar crescendo, passando desde o suprimento de energia até as dinâmicas obras de saneamento básico. O Brasil possui cerca de 204 milhões de habitantes (BRASIL, 2014) espalhados em um território extenso, o que torna ainda mais complexa a elaboração de planos integrados para prover toda a infraestrutura básica.

A falta de saneamento básico, principalmente de tratamento de esgotos, é uma questão ainda mais séria do que o suprimento de energia. Enquanto 97,8% dos brasileiros possuem luz em suas residências, apenas 39% de todos os esgotos gerados possuem algum tipo de tratamento (BRASIL, 2014). Estes números indicam o grande avanço do setor elétrico, mas mostram também a precariedade dos serviços de saneamento no Brasil. Ainda assim, não é simples separar a questão energética da situação do saneamento básico, pois a matriz energética brasileira é fortemente alicerçada no uso dos recursos hídricos, ou seja, só temos energia quando temos água, que é a mesma que utilizamos para abastecer nossas cidades.

Em um cenário de escassez de chuvas é difícil prever a extensão das perdas, pois são afetados diversos setores da economia. Não somente pelos incrementos nas tarifas de energia, mas pela dificuldade em continuar a

atividade produtiva sem água disponível. Mais além, a crise hídrica nos leva a vislumbrar novas oportunidades, desenvolver novos processos e quebrar paradigmas, para adaptação ao período conturbado.

Com a oportunidade de adoção de novos conceitos, é chance de repensar o atual ciclo do saneamento, onde o tratamento de esgotos é visto como um passivo pelo consumo da água. Na realidade, os efluentes domésticos são uma fonte bastante diversificada de recursos, podendo ser reutilizada a água do seu tratamento e até extraída energia durante o processo. Ainda podemos ressaltar que a produção de esgotos é uma constante, o que faz deles uma fonte de recursos estável e desperdiçada diariamente.

Muitas vezes por desconhecimento ou por fatores culturais deixa-se de aproveitar o real potencial desses efluentes. O tratamento de esgotos domésticos gera uma extensa gama de subprodutos que podem ser aproveitados de maneiras distintas, caso seja aplicada a tecnologia adequada. A produção de energia em Estações de Tratamento de Esgoto tem sido largamente estudada por pesquisadores ao redor do mundo inteiro, com a expectativa de tornar as unidades autossustentáveis do ponto de vista energético. Nessa linha, espera-se minimizar a dependência das empresas de saneamento do setor energético, seja em função do suprimento, ou da variação nas tarifas das companhias distribuidoras, passando a ser uma meta a eficiência energética de suas unidades.

O objetivo principal deste trabalho é mostrar a viabilidade técnica e econômica de Estações de Tratamento de Esgoto por meio da cogeração com biogás, em diferentes escalas do suprimento de energia, para determinação do modelo ideal de aplicação nas unidades.

## **METODOLOGIA**

### **LEVANTAMENTO DE DADOS DE POPULAÇÃO E PRODUÇÃO DE ESGOTO**

Um levantamento de consumo de água e produção de esgoto foi feito realizando consulta ao SNIS (Sistema Nacional de Informações de Saneamento), o qual apresenta uma ampla diversidade de informações sobre o saneamento no Brasil. Com o objetivo de estudar os municípios com população entre 50 e 550 mil habitantes, foram analisadas 473 cidades que apresentavam distribuição de água e coleta de esgoto.

### **DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES**

O dimensionamento das unidades foi realizado com base em dois processos de tratamento de efluentes e produção de biogás, sendo um com processo de Lodos Ativados convencional e aproveitamento do lodo para produção do gás de interesse e o outro com reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), seguido de polimento aeróbio do tipo Lodos Ativados, sendo o gás produzido no reator UASB. O reator UASB é amplamente utilizado no Brasil para tratamento de efluentes domésticos e o digestor anaeróbio de lodos é encontrado em diversos casos de sucesso de cogeração ao redor do mundo. A Figura 1 mostra os fluxogramas adotados para estudar a viabilidade técnica dos processos.

O reator UASB produz biogás a partir da degradação da matéria orgânica presente no esgoto bruto, enquanto que o digestor anaeróbio precisa de material sólido para produzir o gás de interesse, podendo o substrato ser desde resíduos sólidos orgânicos até o próprio lodo dos processos aeróbios de tratamento de efluentes. Portanto, pode-se dizer que além da questão da eficiência na produção de metano para cogeração, a opção do processo de tratamento é fundamental para análise do projeto, pois as características dos substratos para digestão são diferentes, bem como a eficiência de tratamento dos processos anaeróbios e aeróbios para atender as legislações ambientais.

A qualidade do efluente final adotada foi a necessária para atender aos parâmetros de lançamento da legislação ambiental do Rio de Janeiro (INEA NT 202. R10), na qual é preciso atender a uma DBO < 40 mg/L, SST < 40 mg/L e  $\text{NH}_4^+$  < 5 mg/L para o padrão secundário. Com essa informação, foi adotada uma idade do lodo de 7 d para o processo de Lodos Ativados com digestão anaeróbia, por conferir segurança operacional e nitrificação nas condições climáticas brasileiras. Já o digestor foi dimensionado para uma idade do lodo de 15 d, visando otimizar a demanda por área do processo. A rota de tratamento que utiliza os reatores UASB foi dimensionada visando manter as velocidades ascensionais < 0,7 m/h, para evitar possíveis arrastes de lodo, e TDH > 7 h,

conforme ABNT 12.209/11. O reator aeróbio na sequência foi dimensionado para idade do lodo de 15 d, com o objetivo de realizar o polimento do efluente do UASB e apresentar uma menor produção de lodo.

Foram dimensionadas unidades de geração de biogás a partir de esgotos domésticos ou lodos gerados no tratamento dos mesmos, com capacidade para atender uma demanda populacional de 50.000 até 500.000 habitantes e traçar uma curva de investimentos dos projetos.

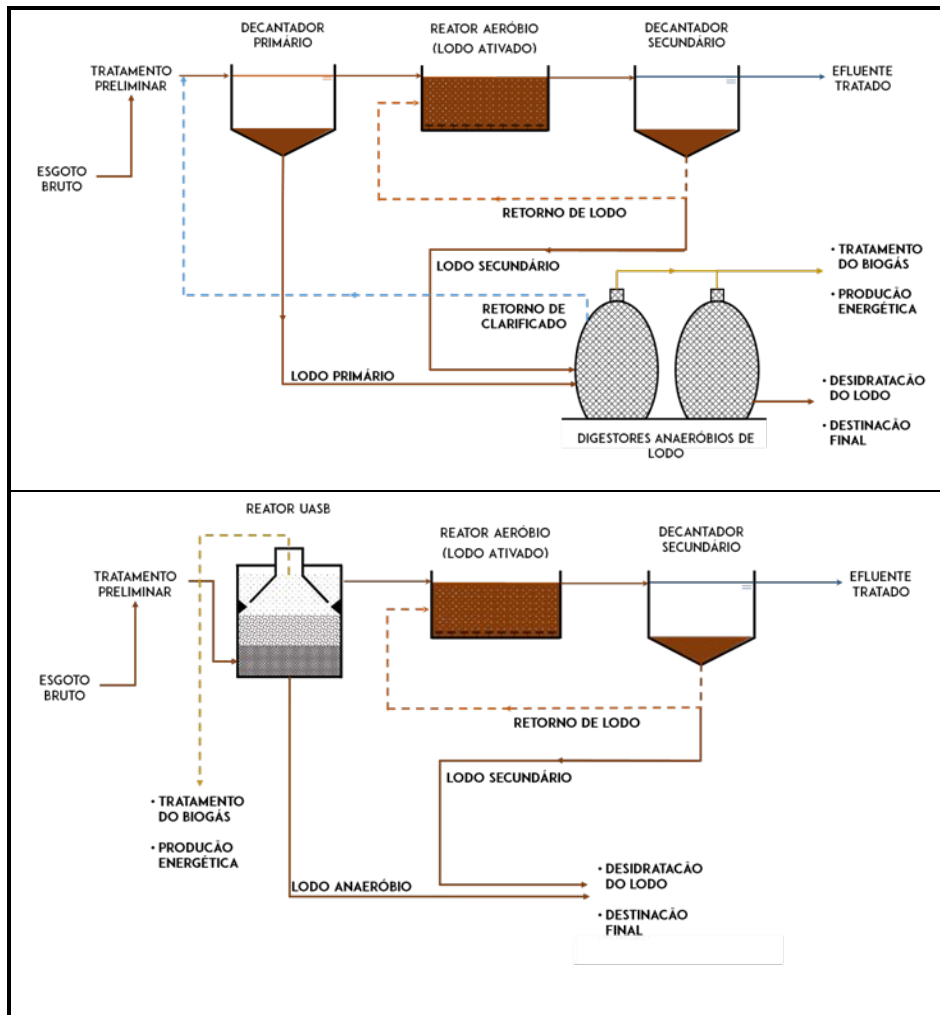


Figura 1: Fluxograma dos Processos: Lodos Ativados + Digestores Anaeróbios e Reator UASB + Polimento Aeróbio.

## DIMENSIONAMENTO DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO E PRODUÇÃO DE ENERGIA

De posse dos dimensionais dos reatores projetados foi possível realizar o orçamento dos tanques com base nos custos unitários informados pela Tabela EMOP-RJ, sendo consideradas as fundações, o volume de concreto, a quantidade de aço e as horas trabalhadas pelos trabalhadores da construção civil. O volume de metano produzido diariamente por cada uma das rotas de tratamento de esgoto proposta foi levantado. Este volume foi normalizado para produção horária e a capacidade de produção energética foi calculada utilizando o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano que é de 9,96 kWh/m<sup>3</sup>.

## RESULTADOS

### LEVANTAMENTO DE DADOS DE POPULAÇÃO E PRODUÇÃO DE ESGOTO

Um levantamento de consumo de água e produção de esgoto foi feito realizando consulta ao SNIS, o qual apresenta uma ampla diversidade de informações sobre o saneamento no Brasil. Com o objetivo de estudar os municípios com população entre 50 mil e 550 mil habitantes do Brasil, foram analisados dados de 473 cidades que apresentavam distribuição de água e coleta de esgoto, conforme apresentado na Tabela 1. Ressaltando que, nesse estudo, foram considerados os municípios em sua totalidade.

**Tabela 1: Municípios analisados na base de dados do SNIS.**

Faixa de população	Municípios Analisados	
	Total	%
400 a 550 mil hab.	20	4
300 a 399 mil hab.	19	4
200 a 299 mil hab.	52	11
100 a 199 mil hab.	138	29
50 a 99 mil hab.	244	52
<b>Total</b>	<b>473</b>	<b>100</b>

Foi necessário excluir da análise os municípios que apresentavam dados incompatíveis com as faixas de população pois, como a base de dados é alimentada com informações autodeclaradas das concessionárias de saneamento, podem ter ocorridos falhas no preenchimento dos formulários da pesquisa.

A Tabela 2 mostra o resultado do levantamento com a média e o desvio-padrão para o consumo de água e a produção de esgoto para cada faixa de população. As faixas de consumo per capita de água encontradas apresentam diferenças pouco expressivas, quando comparadas às propostas no estudo de von Sperling (2005). No entanto, o consumo de água foi analisado para outras faixas de população que não constavam no estudo anterior, podendo servir de referência para futuros projetos no Brasil. Pode ser observado na Tabela 2 que o coeficiente de retorno, usualmente da ordem de 80% segundo a NBR 9.649/1986, foi superior a 84%, chegando até 90%. É importante lembrar que os dados são referentes a redes de coleta de esgotos que sofrem cronicamente com infiltrações, dependendo do tipo de material utilizado e do solo nas quais foram assentadas. Dessa forma, pode ser considerada inclusa nos valores de produção per capita de esgoto a parcela referente à infiltração na rede.

**Tabela 2: Relação entre o consumo de água e a produção de esgoto.**

Faixa de população	Consumo de água (l/hab.d)		Produção de esgoto (l/hab.d)		Relação entre o consumo de água e produção de esgoto
	Média	DP	Média	DP	
400 a 550 mil hab.	179	55	158	62	88%
300 a 399 mil hab.	168	34	147	33	88%
200 a 299 mil hab.	163	40	136	40	84%
100 a 199 mil hab.	153	57	135	59	89%
50 a 99 mil hab.	150	52	134	64	90%

Em estudo realizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2016) foram inventariadas 2.562 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), sendo que 982 possuíam reatores UASB em suas linhas de tratamento, o que evidencia a alta aceitação da tecnologia no Brasil. Visto que o índice de cobertura de tratamento de esgoto ainda está próximo de 40%, existe um largo horizonte para o crescimento da tecnologia. É importante ressaltar a aceitação da tecnologia de tratamento com reatores UASB, que no último censo realizado pelo IBGE em 2008 apresentava cerca de 188 unidades e hoje, no estudo da ANA (2016), já são 932 unidades instaladas. Dessa forma, a proposta deste estudo de explorar as linhas de tratamento aeróbio com digestão anaeróbia de

lodo e de reatores UASB seguidos de polimento aeróbio está alinhada com o atual cenário do saneamento no Brasil.

A Tabela 3 mostra um resumo do dimensionamento das unidades de tratamento para os processos de tratamento em reator UASB seguido de polimento em Lodos Ativados e tratamento em Lodos Ativados com digestão anaeróbia de lodo. É possível notar a maior necessidade de área para implantação e de volume reacional para os reatores UASB seguidos de Lodos Ativados. Essa diferença está diretamente relacionada com a necessidade de tempos de detenção mais elevados para o sistema de reator UASB com Lodos Ativados, se comparado com apenas o processo aeróbio. Por outro lado, os custos operacionais dos sistemas com reator UASB seguidos de Lodos Ativados costumam ser inferiores aos dos processos apenas aeróbios, uma vez que o processo anaeróbio consome grande parte da matéria orgânica.

**Tabela 3: Resumo do dimensionamento dos processos estudados.**

População (habitantes)	Vazão (L/s)	UASB + Lodos Ativados		Lodos Ativados + Digestão Anaeróbia de Lodo	
		Área para implantação (m <sup>2</sup> )	Volume Reacional (m <sup>3</sup> )	Área para implantação (m <sup>2</sup> )	Volume Reacional (m <sup>3</sup> )
50.000	78	3.012	6.332	2.547	4.739
100.000	156	6.060	12.790	5.267	9.781
200.000	315	12.166	25.720	10.117	18.703
300.000	510	19.989	41.897	15.451	28.533
400.000	731	28.443	59.999	22.090	40.656
500.000	914	35.554	74.998	28.566	52.660

A Tabela 4 mostra a produção de lodo e os requisitos de aeração de cada sistema proposto, principais responsáveis pelas diferenças nos custos operacionais. Usualmente, espera-se que a produção de lodo nos sistemas apenas aeróbios sejam superiores aos sistemas que possuem processos anaeróbios, porém, nesse caso, a diferença está na digestão de lodo adotada em conjunto com o tratamento de Lodos Ativados. A digestão anaeróbia de lodo é capaz de destruir parte dos sólidos voláteis e reduzir o volume final de lodo para disposição. Os resultados obtidos nesse dimensionamento são a base para realizar o orçamento de custo de construção dos reatores e aplicação do modelo sugerido, além do dimensionamento dos custos operacionais das unidades de tratamento de esgoto.

**Tabela 4: Produção de lodo e requisitos de aeração dos processos estudados.**

População (habitantes)	Vazão (L/s)	UASB + Lodos Ativados		Lodos Ativados + Digestão Anaeróbia de Lodo	
		Produção de Lodo (t/d)	Requisitos de Aeração (m <sup>3</sup> ar/h)	Produção de Lodo (t/d)	Requisitos de Aeração (m <sup>3</sup> ar/h)
50.000	78	0,83	4.607	0,91	4.904
100.000	156	1,67	9.259	1,67	9.843
200.000	315	3,35	18.608	3,35	19.749
300.000	510	5,11	29.403	5,16	30.964
400.000	731	6,92	41.192	7,67	43.132
500.000	914	8,65	51.490	1,91	53.873

Os custos de implantação apresentados na Tabela 5 para as estações de tratamento foram compatíveis com os observados em projetos recentes do Grupo Águas do Brasil para a escala de até 200.000 habitantes, ou 315 L/s. Considerando a aderência do modelo às escalas mencionadas e observando a variação do custo unitário

por capacidade instalada, que está associada à economia de escala, é factível aceitar as estimativas previstas de custo para implantação. Nesta Tabela não estão incluídos os custos com a linha de gás, por não serem usuais em estações de tratamento convencionais, sendo muitas vezes considerados como projetos especiais.

**Tabela 5: Estimativa de Custos de Implantação.**

População (habitantes)	Vazão (L/s)	UASB + Lodos Ativados		Lodos Ativados + Digestão Anaeróbia de Lodo	
		Custo de Implantação (R\$)	Custo Unitário (R\$/L/s)	Custo de Implantação (R\$)	Custo Unitário (R\$/L/s)
50.000	78	14.132.888	182.251	11.848.465	152.792
100.000	156	28.320.624	181.252	23.753.536	152.023
200.000	315	56.952.025	180.906	47.759.437	151.706
300.000	510	92.024.225	180.292	76.936.919	150.734
400.000	731	131.783.029	180.159	109.625.453	149.868
500.000	914	164.193.083	179.573	136.351.191	149.123

Ainda, a Tabela 6 mostra outra abordagem sobre os custos unitários de implantação das estações de tratamento, que nesse caso são relativos ao número de habitantes atendidos pela unidade, sendo possível perceber um aumento de custo à medida que as populações crescem, o que é o inverso do apresentado na Tabela 5 em função da capacidade instalada. Essa tendência está relacionada com o acréscimo de vazão, que não é exatamente linear entre as populações contribuintes para a ETE.

A capacidade de produção energética das rotas propostas pode ser observada na Tabela 7. Apesar dos altos volumes de metano produzidos diariamente nos reatores UASB, a confecção dos tanques ainda deixa bastante a desejar e é comum a ocorrência de vazamentos do gás. No entanto, mesmo descontadas parcelas referentes a vazamentos e ao gás que solubiliza no efluente, a produção de metano nos reatores UASB é superior ao produzido nos sistemas de digestão anaeróbia. A maior produção de metano dos reatores UASB também se deve à natureza do substrato utilizado, pois o esgoto doméstico possui maior fração de matéria orgânica biodisponível e biodegradável do que os lodos utilizados no digestor anaeróbio. Esse quadro pode se reverter se considerado o recebimento de resíduos de óleos e graxas externos a ETE para os digestores anaeróbios.

**Tabela 6: Custos de Implantação por Habitante.**

População (habitantes)	UASB + Lodos Ativados	Lodos Ativados + Digestão Anaeróbia
	Custo Unitário (R\$/hab.)	Custo Unitário (R\$/hab.)
50.000	283	237
100.000	283	238
200.000	285	239
300.000	307	256
400.000	329	274
500.000	328	273

**Tabela 7: Produção de biogás e capacidade de produção de energia.**

População (habitantes )	Vazão (L/s)	UASB + Lodos Ativados		Lodos Ativados + Digestão Anaeróbia de Lodo	
		Produção de Metano (m <sup>3</sup> /d)	Capacidade de Produção Energética (kWh)	Produção de Metano (m <sup>3</sup> /d)	Capacidade de Produção Energética (kWh)
50.000	78	510	212	375	156
100.000	156	1.020	423	752	312
200.000	315	2.040	846	1.509	626
300.000	510	3.059	1.270	2.264	940
400.000	731	4.079	1.693	3.002	1.246
500.000	914	5.099	2.116	3.765	1.562

## CONCLUSÕES

O levantamento realizado neste estudo sobre o consumo de água no Brasil apontou pouca diferença em relação aos dados da literatura, porém foram detalhadas faixas de consumo que não eram mencionadas anteriormente. Apesar de mais coerente com a realidade brasileira, essa estimativa não descarta a necessidade de estudos locais para implantação de sistemas de água e esgoto.

A produção per capita de esgoto foi determinada neste estudo para as faixas de população entre 50.000 e 500.000 habitantes, com o objetivo de avaliar o real coeficiente de retorno para futuros projetos de estações de tratamento. Porém, como os dados informados pelas concessionárias de saneamento para o SNIS representam o volume de esgoto coletado e sabendo da deficiência crônica dessas redes, é razoável entender que os valores obtidos possam já contar com a fração de infiltração.

Ainda assim, foi calculado com base nos dados do SNIS o coeficiente de retorno em relação a água consumida, e foi possível observar uma variação de 84 a 90%, sendo superior ao usualmente adotado em projetos de sistemas coletores de esgoto. Essa faixa de coeficiente de retorno é variável em função da população e pode ser utilizada como estimativa na ausência de dados mais específicos para redes coletoras de esgoto, por já prever uma parcela de infiltração.

O dimensionamento dos reatores apontou uma maior capacidade de geração de metano por parte dos reatores UASB, o que lhes confere uma capacidade de produção energética maior. No entanto, é preciso olhar com atenção a realidade dos reatores UASB já implantados no Brasil, uma vez que os problemas de execução das obras civis resultam em grandes vazamentos de gás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 12.209/2011 - Elaboração de projetos hidráulicos sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
2. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
3. ANA (Agência Nacional das Águas). Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos, 2016.
4. BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013. Brasília: SNSA/MCIDADES, 181 p., 2014.
5. INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – INEA. NT 202. R10 - Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos. 1986.
6. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.