



AVALIAÇÃO OPERACIONAL DE ETE COMPOSTA POR REATOR UASB SEGUIDO DE BIOFILTRO AERADO SUBMERSO, UM ESTUDO DE CASO EM ETE DE ESCALA REAL NO MUNICÍPIO DE LUZERNA-SC

Fernanda Facin⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UFSC. Mestranda em Engenharia Civil pela UFSC.

Carolina Bayer Gomes Cabral

Engenheira Sanitarista e Ambiental. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Engenheira da Rotária do Brasil.

Paulo Belli Filho

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFSC. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de São Carlos. Doutor em Química Industrial e Ambiental - Université Rennes I. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Paulo César Lamin

Bacharel em Química Tecnológica pela UFSC. Diretor Presidente do SIMAE – Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto de Joaçaba, Herval D'Oeste e Luzerna-SC.

Endereço⁽¹⁾: Rua José João Martendal, 75, apartamento 301 – Bairro Carvoeira – Florianópolis – Santa Catarina – CEP: 88040-420 - Brasil - Tel: +55 (48) 99641-6623 - e-mail: fernandafacin@gmail.com.

RESUMO

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Luzerna, produto do programa PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), associa os processos anaeróbio-aeróbio por meio de um reator UASB seguido de BAS. A ETE, localizada do município de Luzerna, Santa Catarina, foi dimensionada visando população de saturação de 6.640 habitantes e uma vazão média de 12,6 l/s. Este estudo avaliou o desempenho da planta através de dados de monitoramento de janeiro de 2012 até junho de 2016. Todas as informações relativas à ETE foram disponibilizadas pelo SIMAE (Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto), autarquia responsável pelo sistema. Apesar da intermitência dos dados de análise, foram realizados estudos estatísticos dos parâmetros DBO, DQO, SSed, NT e PT. Todos estes apresentaram boa eficiência de remoção, como DQO (82%) e



DBO (86%) , apesar disso o NT (78 mg/l) e PT (8,3 mg/l) permanecerem com concentrações acima do permitido na legislação. Não foram constatadas grandes mudanças na infra-estrutura, apenas pequenas reformas e instalação de um tanque de equalização. Constatou-se que a ETE, apesar de apresentar boa eficiência na remoção de DBO e DQO, não é capaz de reter a alta carga de nutrientes advindos do afluente, tornando-se necessária a instalação de uma etapa adicional ao tratamento.

Palavras-chave: Eficiência operacional, UASB, Biofiltro aerado submerso, Estação de tratamento de esgoto, Efluente doméstico.

INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

Tendo em vista solucionar os graves problemas ocasionados pela falta de tratamento de efluentes domésticos e industriais, foram lançados programas governamentais de incentivo aos municípios, possibilitando a instalação de estações de tratamento de esgoto e rede coletora. A FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), financia projetos de esgotamento sanitário para municípios com até 50.000 habitantes, visando o controle de doenças e outros agravos (BRASIL, 2015). O programa PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), gerido pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), tem por finalidade desenvolver e aperfeiçoar tecnologias destinadas à ampliação da cobertura dos serviços de saneamento, objetivando a melhoria da qualidade de vida da população brasileira (CAMPOS et al., 1999).

As pesquisas financiadas pelo PROSAB baseiam-se no padrão tecnológico atual, estipulando normas e padrões adequados às particularidades regionais e locais (CAMPOS et al., 1999). Como resultado de tais premissas, obteve-se o sistema de tratamento anaeróbio-aeróbio através do reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) seguido de BAS (Biofiltro Aerado Submerso) atingindo tratamento a nível secundário. Esta combinação (anaeróbio-aeróbio) apresenta uma série de vantagens como: baixa potência de aeração requerida na fase aeróbia, menor produção de lodo biológico e baixo custo de instalação e operação, quando comparada aos sistemas convencionais por lodos ativados (FOCO et al., 2015).

Os custos de tratamento em plantas compostas por reator UASB seguido de tratamento aeróbio proporcionam em geral economias de investimento (CAPEX) de 20 a 50% e operacionais (OPEX) acima de 50% quando comparada a uma planta de lodo ativado convencional (CHERNICHARO et



al., 2006). Considera-se que esta é uma das razões para o aumento da cobertura em tratamento de esgoto na América Latina (CHERNICHARO et al., 2015).

O uso de reatores UASB no tratamento de esgotos sanitários domésticos vem sendo largamente disseminado no Brasil devido a vantagens como sua compactidade e baixo custo energético (HIRAKAWA et al., 2002). Diversos autores relataram que o efluente deste reator normalmente não alcança os padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental, fazendo-se necessária a implantação de uma etapa de tratamento complementar (GONÇALVES et al., 1997; HIRAKAWA et al., 2002; OLIVEIRA&VONSPERLING, 2005; CHERNICHARO et al. 2015). O principal objetivo do pós-tratamento é de completar a remoção da matéria orgânica, bem como de remover constituintes que permanecem após o tratamento anaeróbio, como nutrientes (N e P) e organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos) (CHERNICHARO, 2006). No Brasil, os biofiltros aerados submersos, associados em série a reatores UASB, estão sendo integrados como solução para o tratamento de esgotos em pequenos e médios municípios (CHERNICHARO, 2001).

Dentre as unidades experimentais implementadas pelo PROSAB e financiadas através da FINEP, FUNASA e CAIXA (Caixa Econômica Federal), está a Estação de Tratamento de Esgotos objeto deste estudo. No presente trabalho são apresentados resultados de análises laboratoriais realizadas desde o início da operação da ETE até o presente momento. A estação, sendo fruto da rede cooperativa de pesquisas do PROSAB é composta por um reator UASB e 4 (quatro) BASs (Biofiltro Aerado Submerso).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho e a eficiência da ETE Luzerna utilizando como indicadores os parâmetros físicos, químicos e biológicos. Além disso, investigar possíveis problemas operacionais e estruturais presentes no sistema de tratamento.

MATERIAL E MÉTODOS

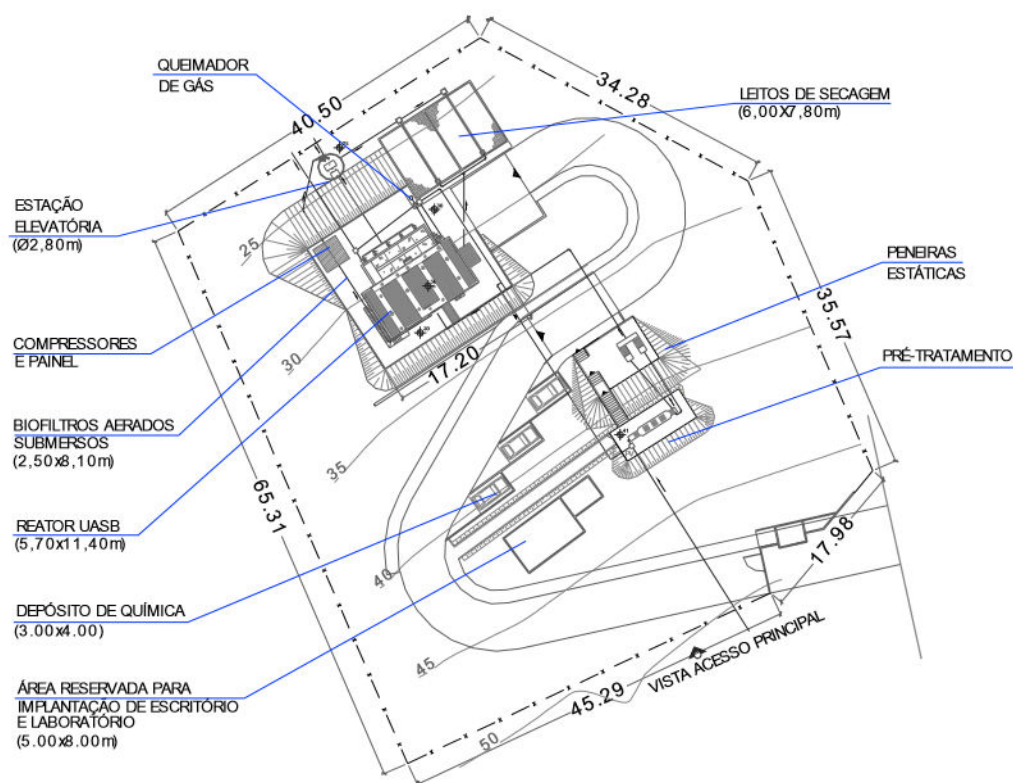
Este trabalho avaliou o desempenho da ETE Luzerna por meio dos dados históricos de análises físico-químicas e biológicas realizadas periodicamente pelo SIMAE e por laboratórios certificados. Para a verificação da infraestrutura da ETE foram feitas visitas em campo. Além disso, utilizou-se o projeto básico e o manual de operação da estação de tratamento como comparativo para a avaliação da mesma.



Atualmente, cerca de 80% do município é atendido pela rede coletora e sistema de tratamento de esgoto gerando uma vazão média de entrada na ETE de 6,9 l/s. O tempo de detenção hidráulica estipulado no projeto do reator UASB é de 8 horas e as taxas de aplicação volumétrica de DBO e DQO são de 0,891kgDBO/m³.d e 1,348kgDQO/m³.d, respectivamente.

Na figura abaixo é possível observar o leiaute da ETE Luzerna.

Figura 1 – Lainya da ETE de Luzerna



Fonte: Projeto básico ETE Luzerna.

As legislações pertinentes, como o CONAMA 430/2011 e a Lei estadual nº 14.675/2009, atuaram como referência na comparação da eficiência do sistema na remoção de substâncias danosas ao ambiente.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA

Nesta etapa foram observadas algumas dificuldades com relação aos dados de monitoramento disponibilizados pela operadora. A maioria dos parâmetros avaliados possuíam inconstâncias na frequência da realização das análises, com intervalos variando de um a três meses, e em certos



casos, até maiores que seis meses. Os parâmetros DBO e DQO foram os únicos a apresentarem resultados em todas as campanhas de amostragem realizadas na ETE Luzerna. A metodologia seguida na análise dos parâmetros observados encontra-se na Tabela 1.

Os dados relativos aos parâmetros DBO, DQO, SSed, NT e PT, afluentes e efluentes, foram analisados através de estudos estatísticos básicos, visando o conhecimento e caracterização do processo de tratamento. Foram calculados, para os parâmetros listados, a média aritmética, mediana, valores máximos e mínimos, quartis inferior e superior, percentis 10 e 90% e eficiência de remoção.

Tabela 1 – Parâmetros avaliados, suas respectivas unidades e metodologia de análise

Parâmetro	Unidades	Método de Análise
DBO	mg/L	SMEWW 22º edition Method 5210 D
DQO	mg/L	SMEWW 22º edition Method 5220 D
Nitrogênio Total	mg/L	SMEWW 22º edition Method 4500 Norg B
Fósforo Total	mg/L	SMEWW 22º edition Method 4500-P E
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	SMEWW 22º edition Method 2540 F

Nota: SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, edição 22.

Os valores encontrados foram comparados com os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelo CONAMA 430/2011 e pela lei estadual 14.675/2009.

AVALIAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA INFRA-ESTRUTURA E OPERAÇÃO

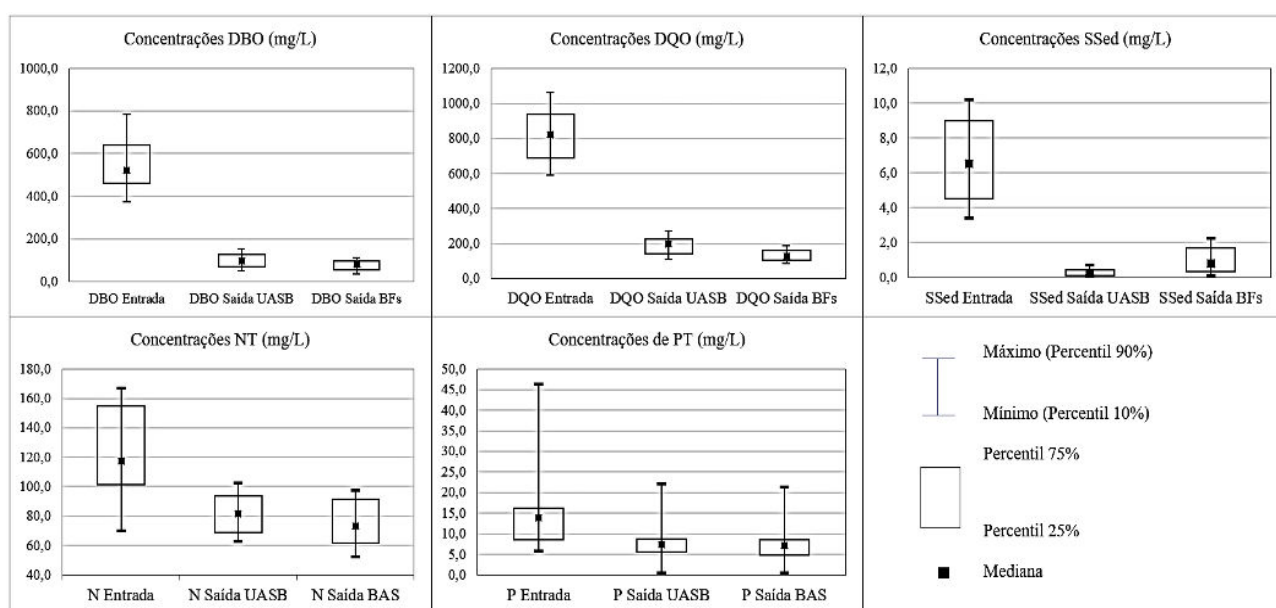
A análise qualitativa da infra-estrutura existente ocorreu através de consultas ao projeto básico da ETE, onde estão descritos os parâmetros de dimensionamento, memorial de cálculo e plantas. A operação foi avaliada através da comparação entre as práticas propostas no manual de operação da ETE e as práticas adotadas pelos operadores. Além disso, algumas informações foram obtidas através de um questionário aplicado aos engenheiros da operadora que acompanharam o projeto e instalação da estação e aos operadores responsáveis pela operação e manutenção da mesma.



RESULTADOS/DISCUSSÃO

Nesta etapa do estudo foram calculadas as eficiências de remoção dos constituintes DBO, DQO, SSed, NT e PT afluentes e efluentes. Os valores médios apresentados pelas concentrações ao longo dos 4 anos de funcionamento da ETE Luzerna são mostrados na Figura 2. Nota-se que os dados de entrada possuem grandes variações, o que pode ser devido à forma de amostragem utilizada.

Figura 2 – Concentrações médias afluente, efluente do reator UASB e efluente final, dos parâmetros avaliados



Fonte: arquivo do SIMAE.

As concentrações afluentes observadas para a estação de tratamento em operação foram comparadas com os valores usuais reportados pela literatura, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre concentrações afluentes usuais e reais dos parâmetros

Parâmetro	Concentrações usuais ⁽¹⁾		Concentrações observadas		
	Faixa	Típicas	Faixa ⁽²⁾	Média	Mediana
DBO (mg/L)	200-500	350	371-784	541	520
DQO (mg/L)	400-800	700	587-1060	818	823
Ssed (ml/L)	10 - 20	15	3 - 10	7,0	6,5
NT (mg/L)	35-70	50,0	70-167	124	117
PT (mg/L)	4-15	7,0	5-46	17,7	13,5

(1) Adaptado de von Sperling (2005); (2) Foram utilizados os percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo) para composição das faixas observadas.

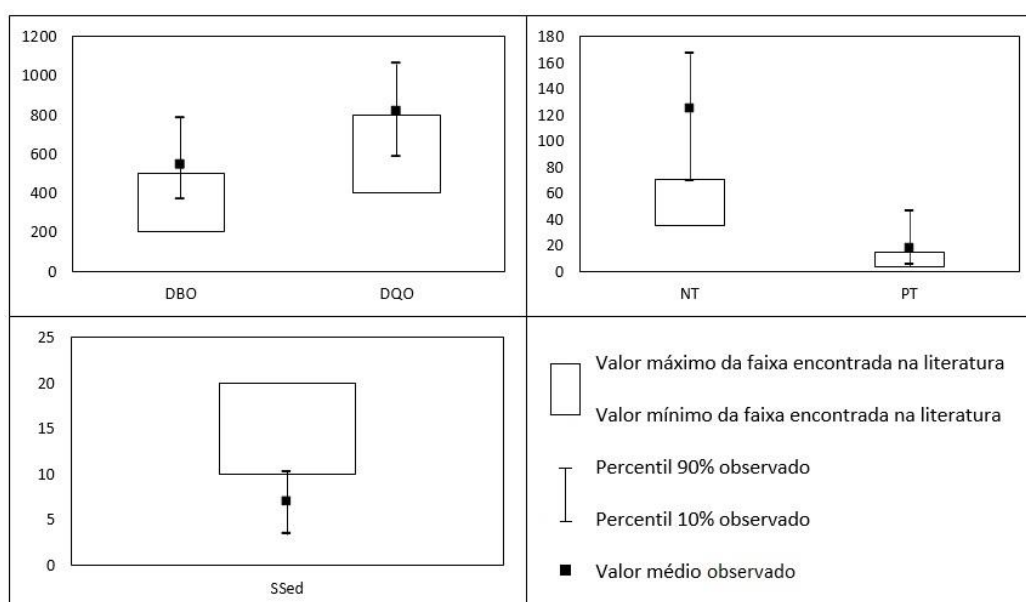


Edlinger et al. (2012) trata o aumento da DQO como um possível indício de despejos originados de indústrias metalúrgicas. Nos resultados obtidos para a concentração do esgoto bruto afluente à ETE, nota-se que a DQO possui valores significativamente maiores que os encontrados na literatura. Uma das hipóteses para tal característica seria a eventual contribuição das indústrias metal-mecânicas, aproximadamente oito estabelecimentos, que se encontram na região atendida pela ETE Luzerna. Ademais, as elevadas concentrações de DQO e NT reforçam a hipótese de contribuição industrial no esgoto doméstico.

Para facilitar a visualização das diferenças entre as concentrações típicas expressas na literatura e aquelas efetivamente observadas, foram plotados os gráficos mostrados na Figura 3. Neles estão representados os percentis 10 e 90% das concentrações afluentes efetivamente medidas para o processo em operação e os valores máximos e mínimos considerados típicos para despejos domésticos.

Observando-se a Figura 3 é possível notar que, em geral, o esgoto afluente apresenta concentrações mais elevadas do que o encontrado na literatura.

Figura 3 – Comparação entre concentrações afluentes dos parâmetros e os valores típicos encontrados da literatura



Fonte: arquivo do SIMAE.



A metodologia de amostragem simples, utilizada pela operadora, também pode influenciar nos resultados das análises. De acordo com Oliveira (2006), as altas concentrações para DBO podem decorrer também de contribuições industriais não relatadas ou pelo tipo de amostragem praticado. As concentrações de DBO são normalmente mais elevadas quando se utilizam amostras simples, coletadas em horários de pico.

Na ETE foram observadas eficiências acima do esperado para PT (55%) e NT (37%), porém, a alta concentração do afluente (PT=17,7mg/L e NT=124mg/L) resulta na não adequação aos limites de lançamento legalmente estabelecidos de 4mg/L para PT e 30mg/L para NT.

Na Tabela 2 estão dispostos os intervalos de concentração de efluentes e eficiências típicas de remoção, considerando sistemas devidamente projetados e operados. Também podem ser observados os valores de média e eficiência para a ETE Luzerna.

Tabela 2 – Faixas e eficiências teóricas exigidas pela Lei 14.675/2009 e CONAMA 430/2011 e valores observados na ETE Luzerna

Etapa do tratamento	Faixas e eficiências	Parâmetros			
		DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	NT (mg/L)	PT (mg/L)
Saída UASB	Faixa típica*	70 - 100	180 – 270	> 20	> 4
	Eficiência típica * (%)	60 - 75	55 – 70	< 60	< 35
	Média observada	101	194	88	8,5
	Eficiência observada (%)	81	75	29	52
UASB + BAS	Faixa típica *	20 - 50	60 – 150	> 20	> 4
	Eficiência típica * (%)	83 - 93	75 – 88	< 60	< 35
	Média observada	74	141	78	8,3
	Eficiência observada (%)	86	82	37	55
CONAMA 430/2011	(mg/L)	120	150	30 mg/L	4 mg/L
	Eficiência requerida no efluente final (%)	60	55	-	75%
Lei 14.675/2009	(mg/L)	60	-	-	4 mg/L
	(%)	80	-	-	75%

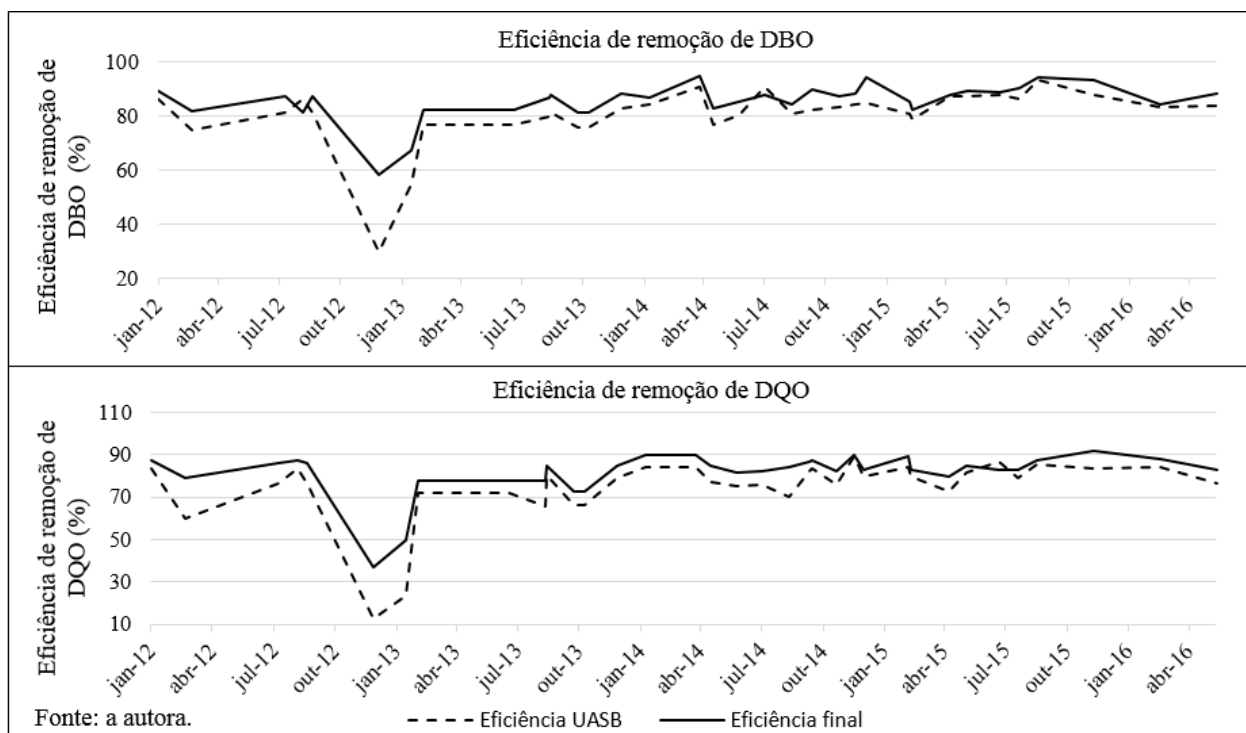
* Fonte: adaptado de Chernicharo (2006).



De acordo com os limites de concentração estabelecidos pelo CONAMA 430/11 e pela Lei 14.675/09, conclui-se que a eficiência do sistema de tratamento UASB+BAS está de acordo para os parâmetros DBO e DQO, como é possível observar na tabela acima. Contudo, apesar das eficiências obtidas para NT (37%) e PT (55%) superarem os valores esperados, a alta concentração do efluente resulta na não adequação aos limites legalmente estabelecidos.

Na Figura 4 é possível observar o comportamento da eficiência de remoção de DBO e DQO desde o início da operação da ETE Luzerna, calculada a partir dos valores de série histórica de entrada e saída do reator UASB e da ETE.

Figura 4 – Eficiência de remoção de DBO e DQO – ETE Luzerna



Chernicharo et al. (2015) compilou dados de desempenho de reatores anaeróbios recentemente instalados no mundo. Por intermédio destes dados foi possível observar que as eficiências de reatores UASB em escala real no Brasil variam de 39 a 79% na remoção de DQO e 65 a 84% na remoção de DBO. De acordo estes dados, o reator UASB operante na ETE Luzerna encontra-se acima destes valores, apresentando eficiência de 82% para DQO e 86% para DBO. Eficiências nesta faixa foram encontradas também em investigações em reatores UASB em escala real no Brasil por Cabral (2016).



Na Figura 4 é possível notar que em dezembro de 2012 os dados de saída do reator UASB foram insatisfatórios, o que refletiu diretamente na eficiência do tratamento no período em questão. De acordo com a operadora, a perda de eficiência se deu devido à problemas nos defletores instalados no reator UASB, os quais estavam em desacordo com o projeto e foram substituídos. A partir desta reforma, a eficiência voltou a aumentar e manteve-se constante durante os anos seguintes.

AVALIAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA INFRA-ESTRUTURA E OPERAÇÃO

Constatou-se que a ETE foi executada conforme o projeto. Foram feitas apenas pequenas alterações na locação de alguns componentes da estação para adequá-la ao terreno. Como parte complementar ao sistema de tratamento foi instalado um tanque de equalização para evitar a sobrecarga nas caixas de areia e nas peneiras.

Ao longo dos últimos anos foram implementadas alterações no sistema de coleta e queima de biogás e no sistema de aeração dos biofiltros, porém não houve registro de queima de biogás após a reforma e a aeração nos BASs segue ocorrendo de forma heterogênea. Questionou-se a existência de dados medição da produção do biogás e análises quantitativas da sua composição, entretanto tais experimentos não ocorrem.

De acordo com os operadores da ETE Luzerna, em certos eventos de chuva ocorre o transbordamento do reator UASB devido à ligações clandestinas de rede pluvial e infiltração de água da chuva na rede de coleta de esgoto. Com o transbordamento, os sólidos são carreados juntamente com o efluente, o que leva à perda de matéria orgânica do interior do reator e à queda na eficiência. Cabral et al. (2016) relata que eventos significativos de chuvas, diluem a concentração do afluente e ocasionam o extravasamento de estações elevatórias, reduzindo a entrada de matéria orgânica a ser digerida no reator UASB. Muitas vezes, ocasionam também um choque hidráulico acarretando na perda de sólidos pelo reator. Como consequência de todos esses efeitos da chuva ocorre a diminuição da produção de biogás. Na Figura 5 é possível observar o acúmulo de material sólido aderido nas paredes do reator e no vertedor, o que comprova a ocorrência de transbordamentos.



Figura 5 – Imagem aproximada da parte superior interna do reator UASB



Fonte: a autora.

Consta no Plano de ação, operação e manutenção do sistema de esgoto sanitário do SIMAE, que no sistema de tratamento de esgoto da ETE Luzerna deverá ser executada a limpeza nas duas peneiras estáticas três vezes por semana. A equipe do SOME deverá realizar a retirada do material retido, acondicionar em recipiente adequado, transportar e dispor os resíduos junto aos contêineres no pré-tratamento da ETE de Herval d'Oeste. Através de visitas à ETE e relatos da equipe, foi possível confirmar a execução da atividade descrita acima na frequência estabelecida.

De acordo com o Projeto Básico da Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário – Município de Luzerna (SC), o lodo de excesso produzido no UASB (anaeróbio+aeróbio digerido) deve ser retirado a uma frequência média de 1 (um) descarte a cada 2 (dois) meses. Ao contrário do que foi sugerido no Projeto Básico, o lodo de excesso produzido no UASB é retirado num intervalo de 7 (sete) a 8 (oito) meses, tendo como fator de decisão a queda de eficiência na remoção de DBO e DQO nesta etapa do tratamento.

Na lateral do UASB estão instaladas tubulações que proporcionam a coleta de amostras em diferentes camadas do reator, contudo, de acordo com o químico responsável, não são realizadas análises do lodo. As tubulações são utilizadas apenas para identificar qual a altura da camada interna de lodo e quando esta atinge um certo nível, é feita a descarga do mesmo.



CONCLUSÃO

Este estudo buscou avaliar o funcionamento e a eficiência da Estação de Tratamento de Esgotos do município de Luzerna em Santa Catarina. Através dos resultados obtidos, conclui-se que:

- A eficiência da ETE está dentro do esperado para o sistema UASB+BAS. Foi observada boa remoção de matéria orgânica e eficiências superiores ao esperado para a remoção de nutrientes, como é o caso do NT e PT, apesar da concentração efluente dos mesmos continuar acima dos limites legais.
- Apesar do grande potencial de tratamento dos BASs, eles aparentam não contribuir de forma significativa para o tratamento. Tal fato decorre de problemas estruturais e na operação, como o mau funcionamento dos difusores de ar e a operação ineficaz do reator UASB.
- Numa visão global, a infra-estrutura atual aparenta ter condições de atingir valores de eficiência ainda melhores que os obtidos atualmente.
- Um dos principais fatores que influenciam diretamente na perda de eficiência é a operação do sistema.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Procedimentos para Execução de Convênios ou Termos de Compromisso e para Obras e Serviços de Engenharia Executados Direta ou Indiretamente pela Funasa. Brasília: Funasa, 2015. 340 p.
- BRASIL. CONAMA. Resolução n. 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 CONAMA. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 92, 16 maio 2011. p. 89.
- CABRAL, C. B. G. Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. 2016. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- CABRAL, C. B. G.; PLATZER, C. J.; CHERNICHARO C. A. L.; HOFFMANN, H.; BELLI, P. F. Evaluation of biogas production and energy recovery potential in a full-scale WWTP with UASB reactors. XII Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion, 2016.
- CAMPOS, J. R. et al. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. São Carlos: Rima Artes e Textos, 1999. 443 p. (PROSAB).



- CHERNICHARO, C.A.L. et al. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. 07, p. 155-198.
- CHERNICHARO, C. A. L.. Post-Treatment Options for the Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater. Reviews In Environmental Science And Bio/technology, [s.l.], v. 5, n. 1, p.73-92, fev. 2006. Springer Science + Business Media.
- CHERNICHARO, C. A. L. et al. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Reviews In Environmental Science And Bio/technology, [s.l.], v. 14, n. 4, p.649-679, 21 set. 2015. Springer Science + Business Media.
- EDLINGER, A. R., SALVADOR, J., MATTEI, D., ASSUNÇÃO, M. G., & BETTIOL, V. R. Caracterização de efluente de indústria metalúrgica e proposta de tratamento. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012.
- FOCO, M. L. R., BATISTA, V. M., CANDELLO, F. P., NOUR, E. A. A. (2015). Degradação de formaldeído tratado em conjunto com esgoto sanitário em sistema combinado anaeróbio-aeróbio. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 20(1), 103-110.
- GONÇALVES, R.F.; ARAÚJO, V.L.; CHERNICHARO, C.A. Tratamento secundário de esgoto doméstico sanitário através da associação em série de reatores UASB e biofiltros aerados submersos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, Foz do Iguaçu, 1997. Anais, Rio de Janeiro, ABES. p. 450-61, 1997.
- HIRAKAWA, C.; PIVELI, R.P.; SOBRINHO, P.A. Biofiltro aerado submerso aplicado ao pós-tratamento de efluente de reator UASB - estudo em escala piloto com esgoto sanitário. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 7, n. 1-2, p. 82-94, 2002.
- OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. Belo Horizonte, 2006. Tese de doutorado-Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos-Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1) 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. UFMG. Minas Gerais. 2005. v. 1.