

II-103 - CARACTERIZAÇÃO DA ESCUMA PRODUZIDA EM REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO, ESTADO DO PARANÁ

Bárbara Zanicotti Leite Ross⁽¹⁾

Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR, mestre em Tecnologia Química pela UFPR (2003), autora (coautora) de 19 trabalhos científicos e três capítulos de livros na área de saneamento. Atualmente é pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar. Membro da Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia do CNRH.

Charles Carneiro⁽¹⁾

Pesquisador da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar e professor junto ao Programa de Pós-Graduação em Economia e Meio Ambiente na UFPR. Engenheiro Agrônomo, mestre em Ciências do Solo, Doutor em Geologia – geoquímica de águas, Pós-doutorado em Engenharia e Ciência da Água.

Miguel Mansur Aisse⁽²⁾

Professor Associado do Mestrado e Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) e do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC, USP). Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica (USP).

Sandro Froehner⁽²⁾

Professor adjunto do Mestrado e Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) e do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Tem experiência na área de Química Analítica e Química Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: bioacumulação, biogeoquímica ambiental, biorremediação de áreas impactadas com petróleo, tratamento de águas contaminadas, biomarcadores ambientais de poluição.

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376 – Rebouças – Curitiba – PR - CEP: 80 215-900 – Brasil - e-mail: barbarazl@sanepar.com.br

Endereço⁽²⁾: PPGERHA da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS. Centro Politécnico- Jardim das Américas – Curitiba - Paraná – CEP: 81.531.990 – Brasil - Tel: +55 (41) 3361-3144

RESUMO

Os reatores anaeróbios de manto de lodo, como os UASBs e RALFs, são amplamente utilizados no Paraná, possuem as vantagens de serem compactos, gerarem pouco lodo, apresentarem custos de instalação e manutenção reduzidos, porém uma das dificuldades operacionais é a retirada de espuma. A espuma é uma camada de materiais suspensos, composta por óleos, ceras, sabões, lodo e material particulado, que flota para a superfície dos reatores requerendo sua retirada periódica, com sequente desaguamento e disposição final. Este trabalho teve dois objetivos: (a) realizar um diagnóstico sobre a problemática da espuma, gerada em reatores anaeróbios tipo UASB e RALF, tratando esgotos domésticos em ETEs do estado do Paraná; e (b) caracterizar a espuma em duas ETEs da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), quanto à composição físico-química, presença de coliformes termotolerantes, *Salmonella spp.*, elementos nutrientes, espécies metálicas e potencial calorífico. Avaliaram-se, através de questionários, 203 Estações de Tratamento de Esgotos, das quais 56,2% utilizam reatores tipo RALF e 38,4% reatores tipo UASB. Em grande número de regionais da SANEPAR destacou-se que a remoção de espuma além de melhorar a aparência na superfície do reator, traz benefícios no que diz respeito à eficiência do tratamento. Ainda, a periodicidade de remoção, a dimensão e localização das aberturas adequadas para acessar e remover a espuma, desaguamento eficiente e local para disposição são os principais itens a serem considerados para um bom gerenciamento de espuma. A espuma apresentou características próximas ao lodo de esgoto, destacando-se a relação SVT/ST próxima a 0,70 que indica a necessidade de biodegradação do material, a elevada presença de micro-organismos (Coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.*), devido ao fato da avaliação ter ocorrido com material não higienizado. Os teores de carbono orgânico, cálcio e magnésio encontrados na espuma são superiores aos encontrados no lodo de esgoto. As espécies metálicas encontradas na espuma foram comparadas com o lodo de ETE e com padrões exigidos pela legislação, a maior parte delas (Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni e Zn) apresentaram-se com teores inferiores aos encontrados em lodo de esgoto e bem inferiores ao exigido em legislação. Esperava-se que a

escuma pudesse apresentar potenciais caloríficos superiores ao lodo de esgoto, devido à presença de O&G, porém as medições realizadas não comprovaram esta expectativa.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico de ETES, espuma, RALF, reator UASB.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado acarreta em um desequilíbrio no fornecimento de água para a população e serviços de saneamento. Nos países da América Latina e Caribe 91 % da população recebe água tratada em suas residências, 79 % possui a coleta de seus esgotos, mas apenas 15 % deste montante recebe o tratamento adequado antes de ser devolvido aos rios (NOYOLA *et al.*, 2012). Baseado neste contexto é fundamental o desenvolvimento de tecnologias capazes de minimizar este problema, oferecendo inovações e considerando as limitações e condições específicas de cada região.

As três principais tecnologias utilizadas em países da América Latina e Caribe possuem diferenças significativas na concepção, design e eficiências atingidas. A mais utilizada é a de lagoas de estabilização, seguida pelos processos de lodos ativados e depois o reator UASB. As lagoas e UASBs requerem pouca energia para operação, enquanto que os UASBs são muito mais compactos que as lagoas, mas necessitam de um pós-tratamento para que o efluente atinja os padrões preconizados pela legislação. Por outro lado a tecnologia de lodos ativados apresenta uma alta eficiência, com alto consumo de energia e alta produção de lodo (NOYOLA *et al.*, 2012). Segundo Chernicharo (2004), o reator UASB é a alternativa mais empregada nos novos projetos de estações de tratamento no Brasil. No Paraná, a tecnologia é utilizada desde 1979 e são mais de 300 reatores anaeróbicos tipo RALF em operação apenas na companhia estadual de saneamento (JURGENSEN, 2005).

Apesar das vantagens de não consumir energia, ocupar pequena área para implantação, pouca necessidade de operação, um reator anaeróbio de manta de lodo apresenta limitações quanto ao atendimento dos padrões de lançamento e também, problemas operacionais relacionados à formação de espuma (SOUZA, 2006). O acúmulo desta pode gerar problemas hidráulicos e operacionais, além de ocasionar uma diminuição na eficiência do tratamento. A composição da espuma é bastante variável, a retirada do interior dos reatores nem sempre é fácil e a destinação final é outro fator dificultador. Devido ao alto teor de matéria orgânica não degradada e presença de diferentes materiais transpassados pelo sistema preliminar de tratamento, ocorre a atração de vetores e emissão de maus odores. Assim, é de grande relevância o estudo mais aprofundado a respeito da problemática de geração de espuma.

Definição de espuma

A espuma é um subproduto sólido constituído geralmente de materiais flotáveis não degradados durante o tratamento de efluentes (SILVA *et al.*, 2005). De modo geral, a espuma pode ser definida como uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores e pode aparecer no tratamento de águas residuárias tanto domésticas quanto industriais (SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO, 2006). A quantidade e as características da espuma dependem da composição do substrato, notadamente do conteúdo de sólidos suspensos e de óleos e graxas (O&G), depende também do sistema preliminar de tratamento (LOBATO *et al.*, 2007). É composta por gorduras, óleos, ceras, sabões, lodo e material particulado de forma geral. Quanto mais eficiente for o tratamento preliminar menos espuma será formada e menor a quantidade de pontas de cigarros, materiais plásticos, cascas de frutas e vegetais, papel, entre outros materiais similares, presente nela.

A espuma é um subproduto do processo de tratamento de esgotos, depende da composição do esgoto afluente, notadamente composta de materiais flutuantes e bastante heterogênea. É importante diferenciar espuma de espuma, apesar de ambas ocorrerem no processo de tratamento de esgotos, serem menos densas que a água e flutuarem na superfície de reatores, apresentarem O&G, bolhas de gás aderidas e micro-organismos, a formação se dá por diferentes razões, a composição é distinta, consequentemente o controle será particularizado (SOUZA, 2006).

Fatores que influenciam na formação de espuma

Nos reatores UASB o acúmulo de espuma ocorre em dois compartimentos distintos: na superfície do compartimento de decantação e no interior do separador trifásico. As duas subunidades apresentam diferenças funcionais importantes na formação da espuma. Na superfície do decantador não deve haver desprendimentos de biogás, enquanto que no interior do separador há um importante desprendimento de biogás. A liberação de gases no interior do separador poderia ter um efeito controlador sobre a espessura e consistência da camada de espuma (SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO, 2006). Independentemente destes fatores, a quantidade e as características da espuma dependem da composição do substrato, notadamente do conteúdo de sólidos suspensos e de O&G (LOBATO *et al.*, 2007). A figura 1 ilustra os locais de formação de espuma no UASB.

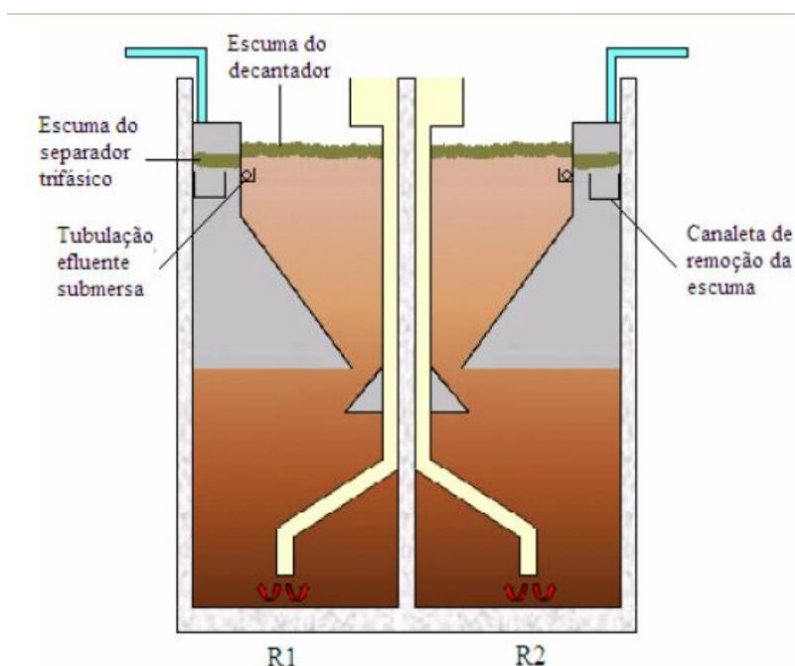


Figura 1: Corte esquemático de reatores UASB geminados (R1 e R2) e visualização das espumas acumuladas no decantador e no separador trifásico.

Fonte: SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO (2006).

A formação da espuma pode ser intensificada quando os reatores UASBs estão operando com baixos tempos de detenção, a alta velocidade ascensional aumenta a quantidade de sólidos arrastados para a superfície do reator contribuindo para uma maior formação de espuma (SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO, 2006). Em um estudo com três reatores piloto, Souza (2006) observou que, com tempo de detenção hidráulica menor (5 h) e maior velocidade ascensional (1,1 m/h), ocorreu maior arraste e/ou flotação da biomassa dos reatores. Outro parâmetro de operação dos reatores UASBs que pode influenciar na formação da espuma é o descarte de lodo (SOUZA *et al.*, 2007). A não retirada do lodo excedente com a frequência adequada certamente provocará uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da taxa de produção de espuma e a possível deterioração da qualidade do efluente final (LOBATO *et al.*, 2007). No experimento de Souza, Aquino & Chernicharo (2006), os sólidos suspensos totais (SST) foram carregados da zona de digestão para a zona de decantação sem terem condições de retornar para a zona de digestão, comprometendo o teor de SST no efluente e na camada de espuma.

O peneiramento forçado (1 mm) do esgoto doméstico bruto antes de ser direcionado ao UASB não é capaz de minimizar a formação e acúmulo de espuma na superfície do reator. A redução do tamanho das partículas causado pelo peneiramento forçado beneficia as taxas de conversão metabólica, porém prejudica a sedimentação dos sólidos e a formação de agregados de micro-organismos (SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO, 2006). Porém o peneiramento reduz a presença de sólidos inertes (pontas de cigarro, canudinhos, etc.) o que contribui para uma melhora na aparência geral da espuma.

Características físico-químicas da espuma

As características qualitativas da espuma não se alteram muito com o passar do tempo. SOUZA *et al.* (2007), em um experimento com duração de 7 meses, obtiveram os seguintes valores médios: sólidos totais (ST) = 102 a 123 g/L, demanda química de oxigênio (DQO) = 152 a 188 g/L, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) = 46 a 60 g/L, oxigênio dissolvido (OD) = 0,3 mg/L e relação sólidos totais voláteis por ST (STV/ST) = 74%. De acordo com pesquisas de OLIVEIRA *et al.* (2007), a espuma acumulada em reator piloto tratando esgoto doméstico, na vazão de 67 L/h, tempo de detenção hidráulico (TDH) 7 h e altura de 4 m foi dividida entre espuma do separador trifásico com 76 g/L de DQO, 35 g/L de ST e 26 g/L de STV e espuma do decantador (interno ao UASB) com 140 g.L⁻¹ de DQO, 87 g.L⁻¹ de ST e 62g.L⁻¹ de STV. A relação STV/ST ficou em 75% e 71% respectivamente. No reator UASB, instalado no campus da UFRJ para tratar o esgoto doméstico com DQO afluente de 350 mg/L, projetado para atender 500 habitantes, a espuma apresentou a relação de ST/SVT de 68,89% sendo os valores encontrados de 659 mg/L de ST, 454 mg/L de SVT, DQO de 14,6 g/L, surfactantes de 190 mg/L e O&G de 2.197 mg/L um valor bastante alto conforme o esperado para este parâmetro (VERSIANI *et al.*, 2005). Já nos estudos de SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO (2006), as ordens de grandeza aproximadas para as características físico-químicas da espuma do decantador foram: 90 g ST/L, 140 g DQO/L, 40 g DBO/L e uma relação STV/ST igual a 70%. A tabela 1 foi elaborada com base nestes resultados supracitados com o objetivo de se obter uma melhor visualização das características da espuma produzida em UASBs. Observa-se que a espuma analisada por VERSIANI *et al.* (2007), apresenta-se diferenciada, isso ocorre uma vez que o trabalho foi realizado na UFRJ e os demais na UFMG.

Sendo assim, este trabalho tem dois objetivos: (a) realizar um diagnóstico sobre a problemática da espuma gerada em reatores anaeróbios tipo UASB e RALF tratando esgotos domésticos em ETEs do estado do Paraná, e (b) caracterizá-la em duas ETEs da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) quanto a composição físico-química, presença de coliformes termotolerantes, *Salmonella spp.*, elementos nutrientes, espécies metálicas e potencial calorífico.

METODOLOGIA

Este trabalho envolveu duas principais etapas, a primeira consistiu em um diagnóstico sobre o gerenciamento de espuma atualmente utilizado nas ETEs e a segunda envolveu determinações laboratoriais, com a avaliação da composição físico-química, presença de coliformes termotolerantes, de *Salmonella spp.*, elementos nutrientes, espécies metálicas e potencial calorífico da espuma acumulada.

Diagnóstico sobre o gerenciamento de espuma atualmente praticado no Paraná

Foi realizado um levantamento de informações sobre a problemática da espuma nas ETEs operadas pela Sanepar no estado do Paraná. Os municípios paranaenses atendidos pela Sanepar são sistematizados, para facilitar a administração, em 20 unidades regionais. Cada unidade regional possui um município sede o qual centraliza as informações e o atendimento aos demais municípios lotados na sua regional. Por esta razão, o levantamento se deu através da aplicação de um questionário nas 20 regionais, cujos aspectos diagnosticados estão apresentados na tabela 1.

Determinação da composição físico-química, de coliformes termotolerantes, *Salmonella*, presença de elementos nutrientes, espécies metálicas e o poder calorífico da espuma acumulada em um reator tipo UASB da RMC

A definição dos parâmetros a serem avaliados na espuma seguiu o recomendado pela resolução do CONAMA nº 375/2006 que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos. Utilizou-se esta legislação como referência na ausência de uma lei que regulamente especificamente a questão da espuma, considerou-se as exigências para o lodo classe A, o qual possui permissão para uso agrícola. Além dos parâmetros solicitados pela resolução incluiu-se a avaliação de DBO, DQO, O&G, elementos nutrientes, espécies metálicas e poder calorífico superior e inferior.

Tabela 1: Escuma e áreas temáticas relacionadas no questionário (1) (diagnóstico).

GRUPO 1 – Ampliação do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)	GRUPO 2 – ETEs em operação
<ul style="list-style-type: none"> Existência de ETEs sendo projetadas ou construídas na regional; Qual a vazão de projeto, e; Processo de tratamento a ser utilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> Cidade onde está localizada a ETE; Nome da ETE; População projetada e atendida pela ETE; Vazão projetada e tratada pela ETE; Unidades de composição do sistema preliminar, e; Tipo de tratamento utilizado.
GRUPO 3 – escuma produzida nos reatores	GRUPO 4 – Forma de retirada da escuma
<ul style="list-style-type: none"> Frequência de retirada; Volume retirado; Formato do reator (quadrado ou redondo); Cobertura do reator (aberto ou fechado), e; Destinação dada á escuma: leito de secagem, misturada ao lodo da ETE, depositada em vala na própria ETE, aterro municipal ou aterro particular. 	<ul style="list-style-type: none"> Retirada do decantador, manual ou com uso de caminhão limpa-fossa; Retirada do interior do separador trifásico manual ou com uso de caminhão limpa-fossa; Facilidade e eficiência na operação de retirada da escuma, e; Informações complementares (caso o respondente queira inserir algum comentário).

NOTA: (1) Aplicado em 20 unidades regionais da SANEPAR.

A preservação, transporte e armazenamento das amostras para a caracterização da escuma seguiu as especificações detalhadas pelo procedimento Preservativo *and Storage* 9060 B. definida pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, WEF, AWWA, 2005). A tabela 2 apresenta as análises realizadas na escuma juntamente com a metodologia de análise aplicada de acordo com o recomendado pela resolução CONAMA nº 375/2006.

Tabela 2: Análises realizadas para caracterização da escuma com respectivas metodologias.

ANÁLISE	UNIDADE	MÉTODO
pH	---	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 4500H+)
DBO	mg/L	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 5210).
DQO	mg/L	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 5220).
Sólidos totais e voláteis	% e % de ST	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 2540).
Óleos e graxas	g/kg de ST	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 5520).
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 9223).
Salmonella spp	UFC/g de ST	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 9260).

Tabela 2: Análises realizadas para caracterização da espuma com respectivas metodologias (continuação).

ANÁLISE	UNIDADE	MÉTODO
Nitrogênio (Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito)	mg/L	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 4500 Norg, NH_3 , NO_2^- e NO_3^-).
Fósforo total,	mg/L	AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (código 4500P).
Carbono orgânico total, Potássio total, Sódio total, Enxofre total, Cálcio total e Magnésio total	mg do parâmetro por kg de ST	Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods. U.S. EPA - United State Environment Protection Agency. SW-846.
Arsênio total, Bário total, Cádmio total, Chumbo total, Cobre, Cromo total, Mercúrio total, Molibdênio, Níquel total, Selênio total, Zinco Total, Alumínio e Ferro	g ou mg do parâmetro por kg de ST	Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods. U.S. EPA – United State Environment Protection Agency. SW-846.
Poder calorífico superior e inferior	kcal/kg	Bomba calorimétrica. Método: ASTM D 2015

NOTA: NMP – número mais provável, UFC – unidades formadoras de colônia.

Foram coletadas amostras de espuma na ETE Atuba Sul e na ETE Padilha Sul ambas localizadas na RMC de Curitiba - RMC, ocorrendo quatro coletas pontuais e mensais, no segundo semestre de 2012.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diagnóstico sobre a problemática da espuma nas ETEs operadas pela Sanepar no Paraná

A avaliação foi realizada nas 20 regionais da Sanepar que atendem um total de 143 cidades, somando 203 ETEs com a vazão total tratada de 564.189 m³/h. Destas ETEs 114 (56,2%) utilizam reatores tipo RALF, 78 (38,4%) reatores tipo UASB, três (1,5%) usam ambas as tecnologias e oito (3,9%) estão operando com outra tecnologia, sendo elas: cinco ETEs (2,4%) com lagoas de estabilização, uma (0,5%) com lodos ativados, uma (0,5%) com tanque Inhoff e uma (0,5%) com tanque séptico. A tabela 3 abaixo apresenta o número de ETEs em cada regional.

Ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário (SES) no Paraná

Com relação à previsão de ampliação do SES 16 regionais já possuem os projetos, três não possuem previsão de ampliação e uma não soube informar. Nas regionais que possuem projeto de ampliação a tecnologia a ser utilizada é de reatores tipo RALF ou UASB em 81,25 % dos casos, o que significará um aumento médio de 3600 L/s de esgoto sendo tratado anaerobiamente e consequentemente, um aumento na geração espuma.

Sistema de tratamento preliminar

Das ETEs pesquisadas 98,94% dos casos, ou seja, 201 ETEs possuem desarenador, entre as duas que não possuem tem-se a ETE Pinhalão, próxima a Santo Antônio da Platina, que opera com gradeamento fino seguido de Tanque Inhoff e a ETE Quati, em Cascavel, também não possui desarenador e opera com apenas com gradeamento grosseiro e lagoas de estabilização.

Tabela 3: Número de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) por regional da SANEPAR.

Unidade Regional (UR)	Cidade sede	Número de ETEs
URAP	Apucarana	7
URAR	Arapongas	8
URCA	Cascavel	9
URCM	Campo Mourão	10
URCP	Cornélio Procopio	7
URFB	Francisco Beltrão	9
URFI	Foz do Iguaçu	5
URGA	Guarapuava	14
URLI	Pontal do Paraná	5
URMA	Maringá	14
URPB	Pato Branco	7
URPG	Ponta Grossa	20
URPV	Paranavaí	8
URSP	Santo Antônio da Platina	14
URTB	Telêmaco Borba	15
URTO	Toledo	14
URUM	Umuarama	10
URUV	União da Vitória	9
USEG	Curitiba	12
USIDLD	Londrina	6
	total	203

O sistema de tratamento preliminar irá interferir diretamente na qualidade da espuma gerada, o espaçamento entre barras das grades determina o teor de impurezas, matéria orgânica e gordura da espuma. A totalidade (100%) das unidades possui algum tipo de grade, o tipo de grade utilizado e suas combinações estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Sistema de tratamento preliminar utilizado pelas ETEs.

Tipo de grade / Combinações de unidades de gradeamento	nº de ETEs	%
Somente grade grossa	76	37,4
Somente grade média	12	5,9
Somente grade fina	57	28,1
Grade grossa + média	1	0,5
Grade grossa + fina	51	25,1
Grade média + fina	3	1,5
Grade grossa + peneira	2	1,0
Grade grossa + fina + peneira	1	0,5

Com base nestes resultados observa-se que 37,4 % das ETEs operadas pela Sanepar possuem apenas o gradeamento grosseiro ou apenas o fino, 28,1 %, totalizando 65,5% das ETEs com apenas um tipo de grade, isso influencia diretamente na composição e quantidade de espuma gerada. A presença de apenas um tipo de grade não garante um tratamento preliminar eficiente, uma vez que o mesmo pode ficar sobrecarregado.

Mesmo não se tendo a informação sobre a quantidade real gerada de espuma, pode-se estimar com base no valor, do qual um reator UASB módulo 80, que trata 80 L/s de esgoto doméstico, produz 3,33 m³ de espuma por dia, com 5 % de sólidos e densidade média de 950 kg/m³ (DALCON, 2010). Desta forma, para a vazão de 564.189 m³/h estima-se a produção de 6.523 m³/dia de espuma, este material precisa ser retirado dos reatores, seco e disposto corretamente.

A figura 2 ilustra a frequência de retirada de espuma praticada nas localidades questionadas.

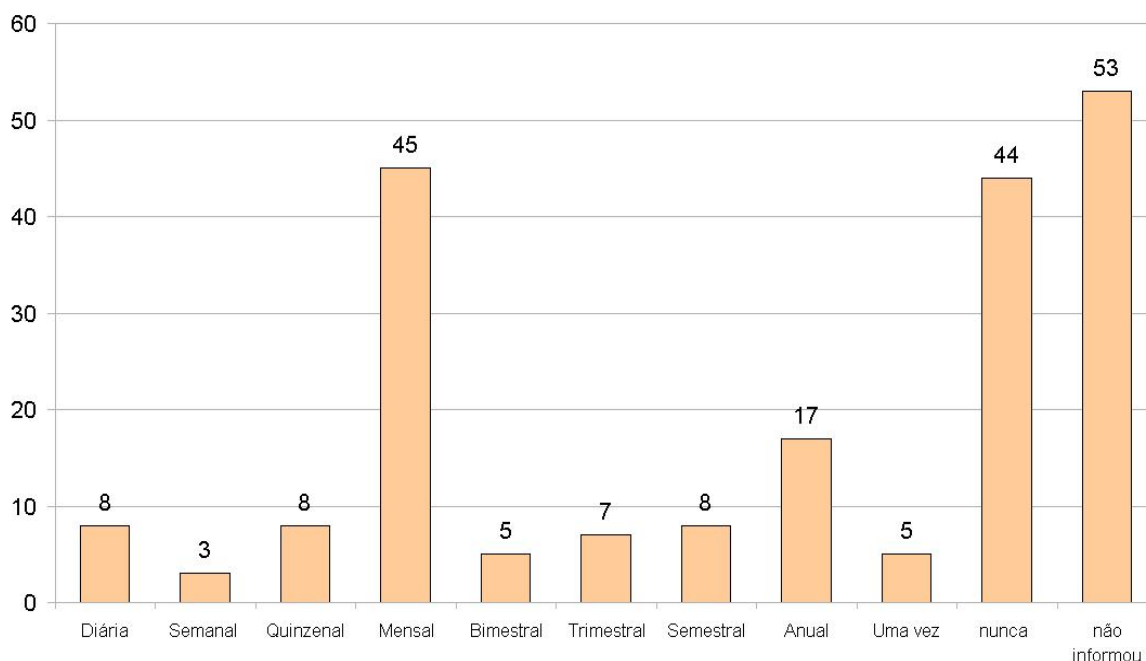


Figura 2: Frequência de retirada de espuma nos reatores anaeróbios.

Conforme se pode observar na figura 2, o número de ETEs onde ou a espuma nunca foi retirada ou esta informação não foi fornecida representa 47,78 %. Acredita-se que para a maior parte das ETEs os problemas relacionados a não retirada de espuma estão começando a ocorrer e por esta razão as retiradas deverão começar a fazer parte da rotina operacional. Por outro lado, de acordo com relatos de operadores das ETEs que faz retirada rotineira de espuma, a retirada em períodos de tempo reduzidos, quinzenais, é mais vantajosa por ter facilitada a prática operacional.

Poucas unidades souberam informar o volume retirado, porém selecionou-se 67 ETEs que apresentaram medição de volume de espuma, que realizam a retirada de espuma com frequência inferior ao período de um trimestre. Para estes casos o volume de espuma representa 0,12 % da vazão de esgoto tratada pela ETE.

A figura 3 apresenta os diversos destinos dados à espuma, predomina o uso do leito de secagem, a disposição em vala dentro da própria ETE e a disposição em aterro sanitário municipal.

A forma de retirada aplicada costuma ser a mesma tanto no compartimento de decantação quanto no separador trifásico, ou seja, se é utilizada a retirada manual, com caminhão limpa-fossa ou outro tipo de retirada, o procedimento é igual para as duas áreas de formação de espuma. Sobre este aspecto utilizou-se as respostas de 109 ETEs, destas 67,89 % realizam a retirada de espuma com caminhão limpa-fossa, 28,44 % a fazem manualmente e 3,67 % utilizam outras formas como um sistema hidráulico para remoção e tubo coletor de

escuma. Estes mecanismos citados por ultimo , quando acionados fazem com que a espuma escoe diretamente para os leitos de secagem. Para o bom funcionamento deste tipo de sistema é fundamental que não ocorra o acúmulo de grande quantidade de espuma, permitindo que a camada a ser removida seja mais fluida.

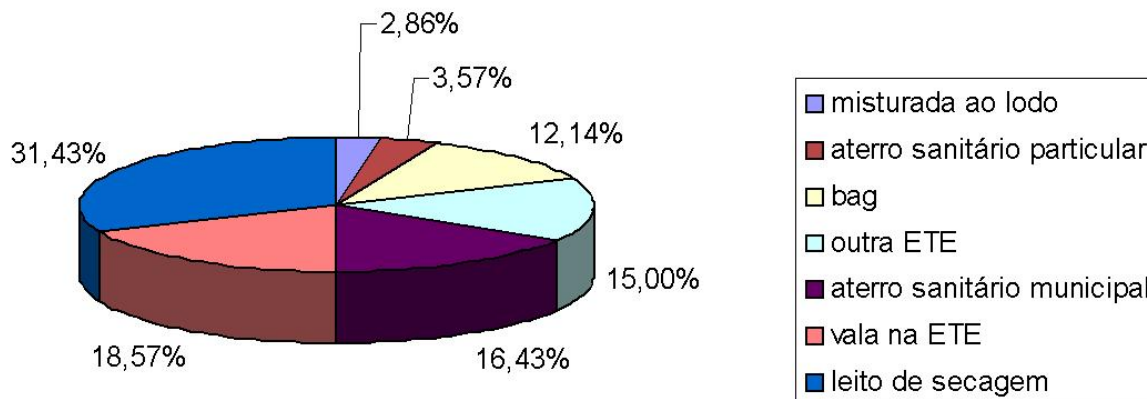


Figura 3: Destino dado à espuma produzida nos reatores anaeróbios.

Várias regionais relataram a dificuldade na operação de retirada de espuma, pelo não funcionamento dos mecanismos propostos e pela necessidade frequente de remoção.

Quando se opta pela secagem de espuma em leitos de secagem escolhe-se um leito dentro do conjunto disponível para “sacrifício”. A secagem da espuma nos leitos exige o uso de uma camada maior de areia sobre os tijolos, esta areia é removida junto com a espuma seca, o que acarreta em um aumento no volume a ser disposto. O período de colmatação deste leito é inferior ao dos leitos utilizados para o desaguamento de lodo de esgoto.

No caso dos reatores cobertos, destaca-se a importância de aberturas adequadas para permitir o acesso para visualização e retirada da espuma, em muitos casos as aberturas são pequenas e em número insuficiente, o que compromete a atividade.

Algumas regionais destacam a dificuldade em encontrar aterros licenciados para a disposição da espuma, salientando a necessidade de valas dentro da ETE para acondicionar a espuma com mecanismo de drenagem que permita o seu desaguamento.

Em grande número de regionais destacou-se que a remoção de espuma além de melhorar a aparência na superfície do reator traz benefícios no que diz respeito à eficiência do tratamento. Ainda, a periodicidade de remoção, aberturas adequadas para acessar e remover a espuma, desaguamento eficiente e local para disposição são os principais itens a serem considerados para um bom gerenciamento de espuma.

Determinação da composição físico-química, microbiológica, presença de elementos nutrientes, espécies metálicas e poder calorífico da espuma acumulada em um reator tipo UASB da RMC

Segue-se um breve descritivo sobre as ETEs avaliadas.

ETE Atuba Sul

Implantada em 1998, atualmente opera com a vazão média de 1120 L/s, é a maior ETE de Curitiba, está localizada à rua Presidente Cordeiro, nº 1000, Cajuru. Seu sistema de tratamento é composto pelo sistema preliminar (gradeamento grosseiro e fino mecanizado, desarenador e calha parshall), 16 Reatores UASB, com capacidade de 70 L/s cada e 04 tanques de flotação por ar dissolvido (FAD) que realizam o pós-tratamento do efluente dos UASBs. Para o lodo é feito o adensamento seguido do desaguamento com prensa desaguadora e higienização com cal. Estas unidades podem ser vistas na imagem de satélite apresentada na figura 4. Lança

finalmente seu efluente no Rio Atuba que é de classe 2, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, sub-bacia Atuba-Bacacheri.

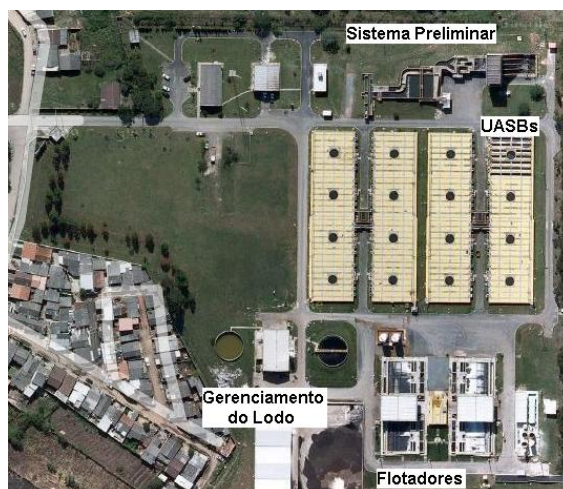


Figura 4: Imagem satélite da ETE Atuba Sul.

Fonte: GOOGLE MAPS (2013).

ETE Padilha Sul

Iniciou a operação em dezembro de 2002, atualmente opera com a vazão de 240 L/s, está localizada à rua Pedrina A. Costa, s/n, Sítio Cercado. Seu sistema de tratamento é composto pelo sistema preliminar (gradeamento grosseiro e fino mecanizado, desarenador ciclônico e calha parshall), 06 Reatores UASBs (capacidade de 80 L/s cada um) e 02 lagoas de sedimentação para o pós-tratamento do efluente, estas unidades podem ser vistas na imagem de satélite apresentada na figura 5. Lança finalmente seu efluente no Ribeirão Padilhas que é de classe 2, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, sub-bacia Ribeirão dos Padilhas. Usualmente recebe um esgoto mais concentrado que as demais ETEs de Curitiba e a rede de atendimento é longa. Estão sendo instalados aeradores nas lagoas com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente final.



Figura 5: Imagem satélite da ETE Padilha Sul a) vista geral e b) vista aproximada da ETE.

Fonte: GOOGLE MAPS (2013).

Na sequência são apresentados os resultados da caracterização da espuma produzida nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul. As amostras foram coletadas de forma pontual, uma vez ao mês, por quatro meses seguidos no período de julho a outubro de 2012, os resultados estão apresentados nas tabelas 5 a 9.

Tabela 5: Resultados preliminares de avaliação físico-química na espuma coletada nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul - Região Metropolitana de Curitiba.

Origem		ST	SVT	SVT/ST	pH	DQO	DBO	DQO/DBO	O&G
		%	% de ST	---	---	g/L		---	g/kg
ETE Atuba Sul	Média	18,18	13,01	0,71	6,2	111	26	4,53	66
	σ (*)	4,94	4,57	--	0,8	15	8	1,81	29
ETE Padilha Sul	Média	18,75	11,86	0,64	7,2	97	29	3,83	28
	σ (*)	3,95	1,74	--	0,4	7	13	1,44	15
Lodo de esgoto anaeróbico (**) - BITTENCOURT, S. <i>et al.</i> (2011)		51,70	23,23	0,47	11,5	---	---	---	---
Escuma - SOUZA <i>et al.</i> (2007)		112	---	0,74	---	170	53	---	---
Escuma - OLIVEIRA <i>et al.</i> (2007)		61	---	0,73	---	108	---	---	---
Escuma - VERSIANI <i>et al.</i> (2005)		0,65	---	0,69	---	14	---	---	---
Escuma - SOUZA, AQUINO & CHERNICHARO (2006)		90	---	0,70	---	140	40	---	---

Obs.: (*) σ = desvio padrão; (**) lodo submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada.

De acordo com a tabela 5 observa-se que a espuma das duas ETEs avaliadas apresenta concentração de ST e SVT inferior ao lodo anaeróbico, o que é esperado, pois a mesma não passou por nenhum processo de desaguamento antes desta avaliação. Quando comparada com os demais autores, o valor de ST é inferior, exceto daquele apresentado por VERSIANI *et al.* (2007), o qual é bastante inferior a todos os autores consultados. Quanto à relação entre SVT/ST, a espuma avaliada em Curitiba apresenta valores muito próximos aos já estudados, valores estes que permitem dizer que a espuma não está estabilizada e deve passar por um processo de digestão. Diferente do lodo de esgoto anaeróbico que apresenta uma relação SVT/ST de 0,47 indicando uma melhor estabilidade do material.

O pH do lodo é mais alto devido ao fato deste ter passado pelo processo de estabilização alcalina prolongada para higienização, neste processo é adicionada cal hidratada, o que acarreta uma elevação do pH.

Com relação à DQO a espuma avaliada possui valores próximos aos encontrados em literatura, exceto daquele apresentado por VERSIANI *et al.*, 2007 que é bastante inferior a todos os autores. Os valores de DBO e de O&G não puderam ser comparados devido à ausência de dados na literatura consultada. Mas, de acordo com a relação DQO/DBO pode-se dizer que a biodegradação biológica da espuma é mais difícil que a do esgoto doméstico, que tradicionalmente apresenta a relação média de 2,0.

Por se tratar de um material não higienizado os valores encontrados e esperados de presença de coliformes termotolerantes e de *Salmonella spp.* são elevados, quando comparados com os limites exigidos pelo CONAMA 375/06 fica clara a necessidade de controle microbiológico.

Os teores de carbono orgânico encontrados na espuma são superiores aos encontrados no lodo, tanto anaeróbio quanto aeróbio. Destaca-se os teores de cálcio e magnésio, bastante superiores aos encontrados no lodo de esgoto. Com relação ao fósforo a espuma apresentou teores menores, o mesmo acontece para nitrogênio Kjeldhal. Os teores de potássio são semelhantes e os de enxofre, sódio, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato não puderam ser comprados. Mas, observa-se que na espuma o nitrogênio predomina na forma amoniacal, tendo teores bem reduzidos de nitrato e nitrato.

Tabela 6: Resultados de avaliação microbiológica na espuma coletada nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul - Região Metropolitana de Curitiba.

Origem	-----	Coliformes termotolerantes	<i>Salmonella spp.</i>
		UFC/g	UFC/g
CONAMA, 375/06	limite	< 1.000	Ausência em 10 g de ST
ETE Atuba Sul	média	22.337	10.3015
	σ (*)	17.556	18.473
ETE Padilha Sul	média	38.698	3.844
	σ (*)	25.655	3.005

NOTA.: (*) σ = desvio padrão

Tabela 7: Resultados de avaliação de teores para alguns elementos químicos na espuma coletada nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul - Região Metropolitana de Curitiba.

local		Carbono orgânico	Fósforo total	Nitrogênio Kjeldhal	Nitrogênio Amoniacal	Nitrato	Nitrito
		%	%	%	%	mgNO ₃ /kg	mgNO ₂ /kg
Lodo aeróbio (¹)		32,10	3,70	4,19	---	---	---
Lodo anaeróbio (¹)		20,10	0,67	2,22	---	---	---
ETE Atuba Sul	média	52,01	2,97	1,24	2,83	63,53	16,92
	σ (²)	26,00	3,83	0,44	2,53	18,99	12,86
ETE Padilha Sul	média	65,48	1,02	1,54	2,69	74,70	20,36
	σ (²)	16,24	0,95	0,32	1,71	36,85	6,37
Continuação		Potássio	Sódio	Enxofre total	Cálcio	Magnésio	
		%	%	mgS/kg	%	%	
Lodo aeróbio (¹)		0,36	---	---	1,59	0,60	
Lodo anaeróbio (¹)		0,95	---	---	0,83	0,30	
ETE Atuba Sul	média	0,24	0,81	18,19	27,06	5,14	
	σ (²)	0,11	0,38	21,52	14,22	3,24	
ETE Padilha Sul	média	0,60	1,02	16,61	21,39	4,78	
	σ (²)	0,434	0,56	8,77	9,34	2,99	

Obs.: (¹) ANDREOLI, VON SPERLING, FERNANDES (2003); (²) σ = desvio padrão

As espécies metálicas encontradas na espuma foram comparadas com o lodo de ETE avaliado por BITTENCOURT *et al.* (2012) e com a resolução SEMA 21/2009. Com relação às espécies metálicas avaliadas, os elementos Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni e Zn apresentaram-se com teores inferiores aos encontrados em lodo de esgoto e bem inferiores ao exigido em legislação. Encontrou-se em uma das amostras alto teor de bário (296,7 mg/kg de ST), chumbo (18,4 mg/kg de ST) e cromo (5 mg/kg de ST), estes valores foram observados nos desvio padrão das análises, apesar de serem superiores ao encontrado na média das amostras os valores são inferiores ao exigido na legislação.

Tabela 8: Resultados de avaliação de espécies metálicas na espuma coletada nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul - Região Metropolitana de Curitiba.

Local		As	Ba ²⁺	Cd ²	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Cr	Hg	Mo	Ni ²⁺	Se	Zn ²⁺	Al ³⁺	Fe total
		(mg/kg deST)												
Lodo de ETE ⁽¹⁾		7,9	106	5,2	44	99	< 2,0	0,4	13	20	1,1	916	-	-
Limite SEMA, 2009		41	1.300	20	300	1.000	1.000	16	50	300	100	2.500	-	-
ETE Atuba Sul	média	< 10	< 10	< 1	< 1	70	< 1	< 10	< 10	< 1	< 10	227	1.679	9.286
	σ ⁽²⁾	< 10	296,7	< 1	18	57	5	< 10	< 10	< 1	< 10	97	1.588	2.506
ETE Padilha Sul	média	< 10	< 10	< 1	< 1	79	< 1	< 10	< 10	< 1	< 10	474	2.137	7.332
	σ ⁽²⁾	< 10	< 10	< 1	< 1	54	< 1	< 10	< 10	< 1	< 10	491	1.517	4.736

⁽¹⁾ BITTENCOURT *et al.* (2012); ⁽²⁾ σ = desvio padrão.

Os valores encontrados para As são menores do que o preconizado pela legislação e possivelmente também podem ser menores que os encontrados em lodo, uma vez que a análise determinou teores inferiores a 10 mg/kg de ST e o lodo apresenta 7,9 mg/kg de ST.

O teor de Se está bem abaixo do citado em legislação, não é possível afirmar que os valores são inferiores ao encontrado em lodo de esgoto, neste encontrou-se 1,1 mg/kg de ST e os teores encontrados na espuma são < 10 mg/kg de ST.

Tabela 9: Resultados de avaliação de potencial calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) na espuma coletada nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul - Região Metropolitana de Curitiba.

Local		PCS (kcal/kg, b.s.) ⁽²⁾	PCI (kcal/kg, b.s.) ⁽²⁾
ETE Atuba Sul	média	2.469	1.884
	σ ⁽¹⁾	1.419	1.202
ETE Padilha Sul	média	2.522	1.700
	σ ⁽¹⁾	1.683	1.135
Lodo anaeróbio ETE Santa Quitéria ⁽³⁾		4.108	4.842
Lodo aeróbio ETE Belém ⁽³⁾		3.856	4.535
Lodo anaeróbio ETE Atuba Sul ⁽³⁾		2.128	2.000

Obs.: ⁽¹⁾ σ = desvio padrão; ⁽²⁾ b.s. = base seca; ⁽³⁾ ALTHOFF & POSSETTI (2013).

Esperava-se que a espuma apresentasse potenciais caloríficos superiores ao lodo de esgoto, devido à presença de O&G, porém as medições realizadas não comprovaram esta expectativa.

CONCLUSÕES

A avaliação compreendeu 20 regionais da Sanepar que atendem um total de 143 cidades, somando 203 ETEs com a vazão total tratada de 564.189 m³/h. Destas ETEs 56,2% utilizam reatores tipo RALF e 38,4% reatores tipo UASB. Em 16 regionais existe a previsão de ampliação do sistema de esgotamento sanitário, em 81,25 % dos casos a tecnologia a ser utilizada é com reatores tipo RALF ou UASB, o que significará um aumento na geração espuma.

Em 100% das unidades avaliadas é feito o gradeamento do esgoto bruto, porém observou-se que 65,5% das ETEs possuem apenas um tipo de grade, isso pode prejudicar a qualidade da espuma gerada além de sobrecarregar o sistema de tratamento preliminar.

Em 47,78 % dos casos a espuma nunca foi retirada ou esta informação não foi fornecida. Acredita-se que para a maior parte das ETEs os problemas relacionados a não retirada de espuma estão em estágio inicial e por esta razão as retiradas deverão começar a fazer parte da rotina operacional.

Poucas unidades souberam informar o volume retirado, porém estimou-se para os casos informados que o volume de espuma representa 0,12 % da vazão de esgoto tratada pela ETE. Dentre os destinos dados após a retirada, predomina o uso do leito de secagem, a disposição em vala dentro da própria ETE e a disposição em aterro sanitário municipal.

A forma de retirada em 67,89 % das ETEs é com uso de caminhão limpa-fossa e manualmente em 28,44 %.

A espuma apresentou características próximas as do lodo de esgoto, destacando a relação SVT/ST próxima a 0,70, o que indica a necessidade de biodegradação do material. A elevada presença de micro-organismos (coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.*) era esperada devido ao fato da avaliação ter ocorrido com material não higienizado.

Os teores de C orgânico, Ca e Mg encontrados na espuma são superiores aos encontrados no lodo de esgoto. As espécies metálicas encontradas na espuma foram comparadas ao lodo de ETE e a legislação, sendo que Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni e Zn apresentaram teores inferiores aos encontrados em lodo de esgoto e bem inferiores ao exigido em legislação.

Esperava-se que a espuma apresenta-se potenciais caloríficos superiores ao lodo de esgoto, devido à presença de O&G, porém as medições realizadas não comprovaram esta expectativa.

Em grande número de regionais destacou-se que a remoção de espuma além de melhorar a aparência na superfície do reator traz benefícios no que diz respeito à eficiência do tratamento. Ainda, a periodicidade de remoção, a dimensão e localização das aberturas adequadas para acessar e remover a espuma, desaguamento eficiente e local para disposição são os principais itens a serem considerados para um bom gerenciamento de espuma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTHOFF, C.A. POSSETTI, G.R.C. **Relatório Técnico Parcial 01-2013 do projeto de secagem de lodos de esgoto em secador tipo tambor rotativo**. Parceria com empresa Albrecht equipamentos Industriais Ltda. 2013.
2. ANDREOLI, C.V. VON SPERLING, M. FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. v. 6. DESA UFMG, Belo Horizonte, 2003.
3. APHA, WEF, AWWA, 2005 APHA-AWWA-WPCF, 2005. **Standard Methods for Examination of Water and Waste water**, 20th ed, American Public Health/ American Water Works Association/ Water Pollution Control Federation, Washington DC, USA.
4. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
5. BITTENCOURT, S. SERRAT, B.M. AISSE, M.M. MARIN, L.M.K.S. SIMÃO, C.C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012.
6. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
7. DALCON, Dalcon Engenharia. **Projeto de ampliação da Estação de Tratamento de Esgotos Atuba Sul**. Sanepar Dalcon Engenharia. Memorial Descritivo, 2010.
8. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. **Journal of the Institution of Engineering** (India), Part EN: Environmental Engineering Division, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
9. FADINI, P.S. **Quantificação de carbono dissolvido em sistemas aquáticos, através da análise por injeção em fluxo**. Campinas, 1995. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Civil Universidade Estadual de Campinas, 1995.

10. JURGENSEN, D.. A experiência no tratamento de esgotos na Sanepar. *In: Seminário sobre Tratamento de Esgoto*. Curitiba: SANEPAR, 2005.
11. LOBATO, L.C.S. CHERNICHARO, C.A.L., OLIVEIRA FILHO, J.M., MORAES, O.J.S. Avaliação de desempenho da pré-operação dos reatores UASB ETE Onça: capacidade instalada 2,05 m³/s. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24, Belo Horizonte, 3-7 set. ABES, 2007. 1CD ROM.
12. PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2009) **Resolução SEMA 021/09**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Curitiba. Diário Oficial do Estado do Paraná, n. 7.962, p. 13-16.
13. SILVA, S.Q.; ZERBINI, A.M.; GODINHO, V.M.; CHERNICHARO, C.A.L. Caracterização morfológica de micro-organismos presentes em espuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23, Campo Grande 18-23 set. ABES, 2005. 1CD-ROM.
14. SOUZA, C.L. AQUINO, S.F. CHERNICHARO, C.A.L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic waste water. **Water Science & Technology**, v. 54, p. 201-208, 2006.