

II-542 - PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE CÂMARA DE DESSORÇÃO DE METANO E SULFETO DE HIDROGÊNIO DISSOLVIDOS EM EFLUENTES DE REATORES UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO

Lucas Martins Machado⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Déborah de Freitas Melo

Engenheira Bioenergética pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC). Mestre e Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Cláudio Leite de Souza

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Belinazir Costa do Espírito Santo

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na SMARH/UFMG.

Letícia de Souza Alves

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte/MG – Escola de Engenharia, Bloco 1 – sala 4541; CEP: 31270-901 – Brasil -- E-mail: lucasmachado54@hotmail.com@hotmail.com

RESUMO

O emprego de reatores UASB em estações de tratamento de esgoto (ETE) é bastante promissor, sobretudo no cenário brasileiro, já que o reator possui vantagens, como, por exemplo, simplicidade de operação e manutenção, e baixo custo de insumos operacionais energéticos. Entretanto, o uso de reatores UASB ainda apresenta algumas desvantagens, como possibilidade de emissões de metano e sulfeto de hidrogênio a partir do seu efluente que tende a apresentar concentrações relativamente elevadas. As concentrações típicas de metano e sulfeto dissolvidos no efluente de UASB atingem cerca de 15 a 20 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹ respectivamente. A técnica que vem sendo avaliada denominada de Câmara de Dessorção (CD), tem despontado como muito promissora, sendo que estudos recentes demonstram eficiências da ordem de 70-90% de remoção de tais constituintes. Dessa forma, no presente trabalho buscou-se sistematizar e desenvolver uma metodologia de projeto de CD, para em seguida implementar a construção/instalação da mesma em escala demonstração no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) dentro da ETE Arrudas/COPASA. Dessa forma, definiu-se as seguintes faixas de parâmetros para o projeto: i) altura de queda (ΔH) = 1,2 m ; ii) carga de hidráulica superficial (CHS) = 0,3 m.s⁻¹ ; iii) relação entre vazões ar/líquido (rQ) = 4; iv) material de enchimento (H^*) = 1 m . A partir dos valores médios, determinou-se as seguintes dimensões para a CD: 1,5 x 0,35 m (altura e diâmetro). Após a devida implantação, ressalta-se os cuidados devidos especialmente quanto a estanqueidade do sistema, regime hidráulico e acúmulo de sólidos na câmara.

PALAVRAS-CHAVE: Câmara de dessorção, metano dissolvido, sulfeto de hidrogênio dissolvido, esgotos domésticos, reator UASB.

INTRODUÇÃO

A degradação anaeróbia da matéria orgânica pode gerar, entre outros, subprodutos como sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono, nitrogênio, metano, Chernicharo (2007). Quando esses compostos são direcionados pelo defletor de gases e coletados de forma controlada pelo separador trifásico constituem o biogás, que pode ser aproveitado energeticamente, evitando ainda que esses compostos sejam considerados poluentes em termos de emissões gasosas. Os gases que não são direcionados para o coletor de gás, podem encontrar seu caminho para atmosfera através da zona de decantação de reatores anaeróbios que não são tampados, além de pontos de vazamento nas tubulações de coleta do biogás e até mesmo dissolvidos no efluente tratado.

Essas emissões fugitivas constituem um grande problema devido às características dos gases que são liberados. Os compostos que exigem mais cuidados são metano, um dos principais gases de efeito estufa, e o gás sulfídrico, que além de possuir um odor similar de ovo podre e ser tóxico em baixas concentrações, promove corrosão em tubulações e unidades tratamento, Costa et al (2013). Com isso, uma das limitações apresentadas hoje em dia é o gerenciamento dos gases gerados no processo anaeróbio, principalmente os que saem dissolvidos no efluente. Segundo Souza (2010), a quantidade de metano que pode ser liberada da massa líquida é significativa, podendo variar de 36 a 41% do total de metano gerado em reator UASB durante o tratamento de esgoto doméstico.

Uma das possíveis maneiras de se remover os gases dissolvidos, como o metano e sulfeto de hidrogênio, no efluente de reatores UASB de maneira corretiva é a partir de turbulências geradas no meio líquido, que favoreçam o desprendimento e remoção dos mesmos. Nesse sentido, em estudos realizados anteriormente Souza e Chernicharo (2010) realizaram uma pesquisa, utilizando um reator UASB em escala piloto (360 litros) e a denominada câmara de dissipação localizada a 3,5 metros do topo do reator, com uma altura de queda interna/útil de 0,45 metros.

Esse estudo preliminar foi o passo inicial para outro estudo, que foi descrito em Glória et al. (2016a), onde também foi utilizado reator UASB em escala piloto e alimentado com esgoto doméstico. Em outro estudo, Glória et al. (2016b), utilizou a câmara de 0,10 m de diâmetro imediatamente após a saída do reator UASB (mesmo reator citado acima). A CD foi operada com duas alturas de quedas diferentes, 0,5 m e 1,0 m, taxas de exaustão controladas e taxa de aplicação superficial de $0,13 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$. De acordo com os autores, maiores taxas de exaustão, conseqüentemente maior relação entre vazões de ar e líquido resultaram em maiores eficiências. Todavia, a alta taxa de ar implicou em uma maior diluição dos gases residuais gerados, com baixas concentrações de metano e sulfeto de hidrogênio. Ademais, Glória et al. (2016b), definiu que o fator governante para maior eficiência de remoção foi a altura de queda útil dentro da câmara.

Outra pesquisa que segue a linha de câmara de dessorção de gases dissolvidos foi discutida por Huete et al. (2016), com a construção de um sistema piloto combinado para dessorção e remoção biológica de metano e sulfeto de hidrogênio dissolvidos no efluente de reatores UASB tratando esgoto doméstico. A coluna de dessorção foi concebida de material de PVC com diâmetro de 0,15 m e altura de 1,0 m preenchida com anéis de plástico.

Mais trabalhos estão sendo realizados a fim de desenvolver tecnologias para a remoção dos gases dissolvidos em efluente de tratamento anaeróbio, Hatamoto et al. (2010), Takashi et al. (2011), Bandara et al. (2011), Bandara et al. (2012), Matsuura et al. (2015), entre outros. Contudo, todos os trabalhos citados foram realizados em escala de bancada ou piloto e em situações mais controladas.

Dessa forma, no presente trabalho buscou-se sistematizar e desenvolver uma metodologia de projeto de CD, para em seguida implementar a construção/instalação da mesma em escala demonstração no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) dentro da ETE Arrudas/COPASA.

METODOLOGIA

Descrição da área de pesquisa

Os estudos associados à presente pesquisa foram desenvolvidos a partir do Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) que é mantido em parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, localizado junto à estação de tratamento de esgotos ETE Arrudas, em Belo Horizonte, MG.

Para o dimensionamento da Câmara de Dessorção dos gases dissolvidos foi definido o seu fluxograma associado a um dos reatores UASB em escala demonstração, instalado no CePTS. Esse reator é circular, tem 14 m^3 de volume útil, equivalente populacional de 320 habitantes. Demais características estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do reator UASB escala demonstração que antecede à Câmara de Dessorção

Características	Reator UASB
Material	Ferrocimento
Diâmetro (m)	2,0
Altura útil (m)	4,5
Volume útil (m ³)	14
TDH médio de projeto (h)	7,5
Vazão média de projeto (m ³ .d ⁻¹)	40

Dimensionamento CD

Altura de queda e total

Para essa definição, o fundamento está nos estudos mais recentes em escala piloto. No geral, as alturas praticadas se situam entre 0,5 e 2 metros de altura. A altura total também será especificada por consideração dos dispositivos hidráulicos de entrada e saída. O reator UASB utilizado no estudo possui uma altura útil de 4,5 metros, assim a altura de instalação e outros dispositivos devem respeitar essa limitação.

Área transversal

Como a unidade anaeróbia se encontra em um centro experimental e recebe vazão constante, a CD será projetada para da vazão média de operação do reator (40m³/d). Assim, variações de cargas durante a operação na câmara de dessorção serão permitidas. Além disso, será possível avaliar situações de cargas diferentes, como eventos de sobrecarga hidráulica em momentos de pico numa ETE real. A Equação 1 a seguir permite que se calcule a área da unidade.

Novamente as taxas de aplicação superficial serão obtidas dos estudos pilotos recentes e relevantes.

$$A = \frac{Q}{CHS} \quad \text{(Equação 1)}$$

Na qual:

A = área da seção transversal CD (m²)

Q = Vazão afluyente CD (m³.min⁻¹)

CHS = carga hidráulica superficial (m³.m⁻².min⁻¹)

Vazão de exaustão e relação entre vazões ar/líquido (rQ)

Com a altura total definida e a área em planta, calcula-se o volume total da unidade CD. Na sequência, pode-se definir a vazão de exaustão da atmosfera interna da CD a partir da razão entre vazões ($rQ = Q_g/Q_l$), gás/líquido. Assim, através da Equação 2 se obtém a vazão de exaustão. Novamente, rQ é obtida dos estudos piloto conhecidos.

$$Q_g = rQ \times Q_l \quad \text{(Equação 2)}$$

Na qual:

Q_g = Vazão exaustão da atmosfera dentro da CD (m³.d⁻¹)

rQ = Razão entre vazão de exaustão e vazão afluyente a CD

Q_l = Vazão líquida afluyente a CD (m³.d⁻¹)

Modificações para incremento de eficiência

Também serão previstos no projeto alternativas técnicas para buscar eventuais incrementos de eficiência para CD, quais sejam, a introdução de *ar-stripping*, preenchimento parcial da coluna com meios de suporte de elevada área superficial e uma coluna de pratos para aumentar a área superficial e o número de quedas no processo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definição dos parâmetros de projeto

A Câmara de Dessorção (CD) foi testada apenas em escala de laboratório e piloto. Com isso, os parâmetros para o projeto ampliado utilizou dados de literatura científica e experimentos preliminares em aparatos pilotos, Tabela 2. Com o crescente problema de área em centros urbanos, a ótica de tecnologias de tratamento que ocupam menores superfícies são vistas de maneira positiva. Assim, aplicar cargas hidráulicas superficiais (CHS) maiores resultam em aparatos que ocupam em menores áreas, por isso, $CHS = 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ é mais indicado e com resultados satisfatórios, apesar de outros estudos com menores cargas hidráulicas apresentarem resultados de remoções mais eficientes. Da mesma, estudo realizado por Santo *et al.* (2017) indicou que a relação entre vazões gás/líquido de aproximadamente 3,0 possui boa eficiência de remoção dos gases dissolvidos para CHS superficiais próximas a $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, com isso, adotou-se $rQ = 4,0$.

Tabela 2 – Sistematização de parâmetros para o projeto da CD escala demonstração

Piloto	Parâmetros de projeto em pesquisas pilotos				Eficiências médias (%)		Referência
	Altura útil (m)	Carga hidráulica ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)	rQ ($Q_g \cdot Q_l^{-1}$) (vezes)	Modificações	(CH ₄)	(H ₂ S)	
1	1,0	0,13	1,9	Não	73	97	Glória <i>et al.</i> (2016a)
2	1,0	0,13	3,1	Não	58	86	Glória <i>et al.</i> (2016b)
3	1,0	0,83 – 1,73	0,5 – 1,0	Anéis plásticos	99	30	Huete <i>et al.</i> (2016)
4	1,0	1,30	2,3	Não	40	32	Santo <i>et al.</i> (2017)
5	1,0	0,15	11,3	Não	63	47	Santo <i>et al.</i> (2017)
6	1,5	0,35	2,8	Não	65	70	Santo <i>et al.</i> (2017)

Dimensionamento Câmara de Dessorção Demonstração (CD)

Após observar as faixas de operação em estudos realizados anteriormente e verificar as fases de trabalho que obtiveram boas eficiências de remoção, tanto para CH₄, quanto para H₂S, definiu-se as referências para o cálculo do projeto da CD.

$$A = \frac{Q}{CHS}$$

$$\therefore A = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} / 0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \quad \therefore A = 0,92 \text{ m}^2$$

De posse do valor da área superficial, chega-se ao valor do diâmetro da câmara, sendo D de 0,34 m.

Apesar da possibilidade da eficiência de remoção ser mais elevada em maiores alturas de queda e o reator UASB permitir uma altura de trabalho em até 4,5 metros, não é interessante do ponto de vista hidráulico projetar uma unidade intermediária com maiores alturas. A perda de carga hidráulica que ocorre nessas condições pode ser bastante onerosa. Assim, foi adotada uma altura total da câmara de 1,5 metros e altura de queda útil de 1,2 metros.

Como já discutido no subitem anterior, os parâmetros para o dimensionamento do exaustor: $rQ = 4$; $Q_l = 40$ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$).

$$Q_g = rQ \times Q_l$$

$$\therefore Q_g = 40 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) \times 4 \quad \therefore Q_g = 111,11 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

A Tabela 3 apresenta as principais características do dimensionamento da CD.

Tabela 3 - Características CD

Características	Valor
Vazão média de projeto (m ³ .d ⁻¹)	40
Diâmetro (m)	0,35
Altura de queda (m)	1,20
CHS (m ³ .m ⁻² .min ⁻¹)	0,30
Taxa de exaustão (L.min ⁻¹)	111
rQ (vazão ar.vazão líquido ⁻¹)	4
Material	Acrílico

Descritivo Câmara de Dessorção (CD)

Por facilidades de pesquisa, para acompanhamento visual, a câmara será construída em material acrílico, assim, eventuais problemas operacionais poderão ser detectados e corrigidos rapidamente.

A câmara foi projetada contendo 7 furos conforme pode-se observar na Figura 1, alguns para utilização imediata e outros para possíveis adaptações na câmara, além dos furos a parte superior e a parte inferior da câmara é composta por uma tampa presa por um conjunto de 12 parafusos cada, a fim de evitar qualquer vazamento de líquidos ou gases. Os dois furos superiores de diâmetro de 1" ½, como já vistos, são para a entrada do afluente e para a conexão do exaustor, a entrada do afluente a uma distância de 135 mm e a conexão do exaustor, em um ponto acima da entrada do afluente, a uma distância de 110 mm da parte superior da câmara. Na parte inferior da câmara existem 5 furos, o furo 7 no ponto mais inferior da CD é destinado a injeção de ar na parte inferior da câmara, contemplando a promoção do stripping e o furo 6 também com a dimensão de 1" ½, como visto, é o ponto de retirada do efluente. Os outros três furos de diâmetros de 3/4" são pontos destinados entrada de ar, em determinada altura da câmara a fim de se estudar as diferentes eficiências de remoção sobre a influência das posições das entradas de ar. Além disso, a câmara apresenta uma base para adição de meio suporte, que também é um alternativa para configurações futuras.

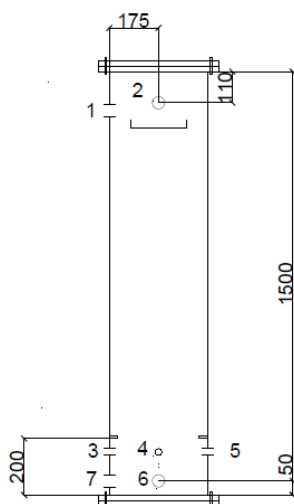


Figura 1 - Representação esquemática da câmara de dessorção

1. Entrada do esgoto tratado (efluente reator UASB) - Entrada 1" 1/2
2. Saída exaustor - Entrada 1" 1/2
3. Entrada de ar atmosférico - Entrada 3/4"
4. Entrada de ar atmosférico - Entrada 3/4"
5. Entrada de ar atmosférico - Entrada 3/4"
6. Saída esgoto (efluente Câmara Dessorção) - Entrada 1" 1/2
7. Adaptação para futura instalação de ar-stripping - Entrada 1" ½

Unidade de exaustão

Conforme calculado, a unidade de exaustão (Figura 2) possui uma vazão de $111,11 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Com isso, foi projetado um sistema que conta com cooler $40 \times 40 \text{ mm}$ (Figura 3), e fluxo de ar de $198,22 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ com o ajuste de vazão feito por um registro. Além do registro, foi previstos pontos de coleta do gás residual formado, pontos para instalar termopar, manômetro e uma caixa de acrílico onde equipamentos de medições podem ser acoplados e o monitoramento em tempo real ser feito pelo operador do sistema.

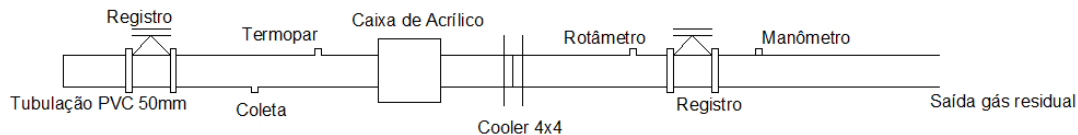


Figura 2 - Desenho esquemático sistema de exaustão

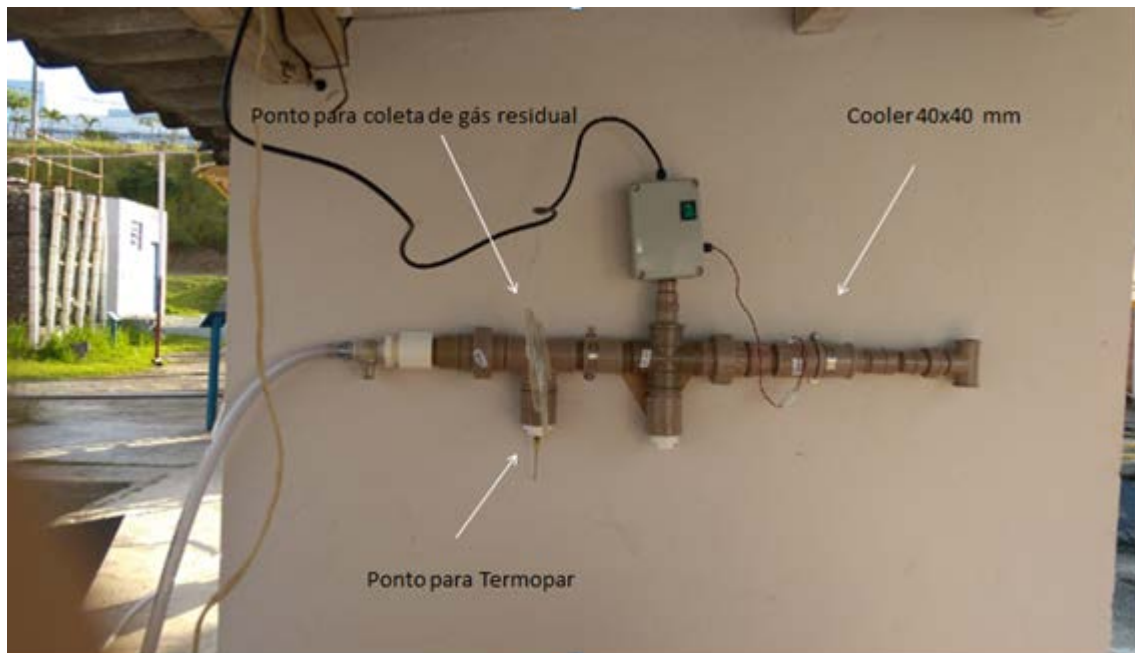


Figura 3 - Vista sistema de exaustão

Operação Câmara de Dessorção

A Figura 4 apresenta de forma esquemática a operação da CD, pode-se observar que o furo de entrada do afluente está na parte superior da câmara, será instalado ainda, a 300 mm do topo da câmara um caps de PVC adaptado que fará a distribuição da vazão afluente por maior área transversal da câmara, não ficando toda a queda d'água concentrada em um único ponto no centro. Os furos presentes no aparato de distribuição foram dimensionados para que a coluna de água dentro do prato se mantenha sempre com poucos centímetros a fim de evitar que ocorra o extravasamento. Ademais, anteriores mostram que as eficiências de remoção de sulfeto e metano são proporcionais ao rQ , vazão de ar em relação a vazão de esgoto, porém a maior razão entre vazões ar/líquido leva a um maior consumo de energia, logo como já visto foi definida rQ de 4. Para mais, a operação da câmara junto ao reator UASB permite reduções de vazões no sistema, podendo ser avaliados cargas hidráulicas superficiais menores ou ajustes de acordo com o hidrograma de vazões afluentes ao sistema. Além disso, atividade do sistema com CHS menores determinam a relação entre vazão de ar e vazão de líquido maiores, podendo aumentar a eficiência do sistema. Esse ajuste do rQ também pode ser feito através de um registro instalado no sistema de exaustão.

A Figura 5 apresenta a vista da Câmara de Dessorção instalada junto ao reator UASB.

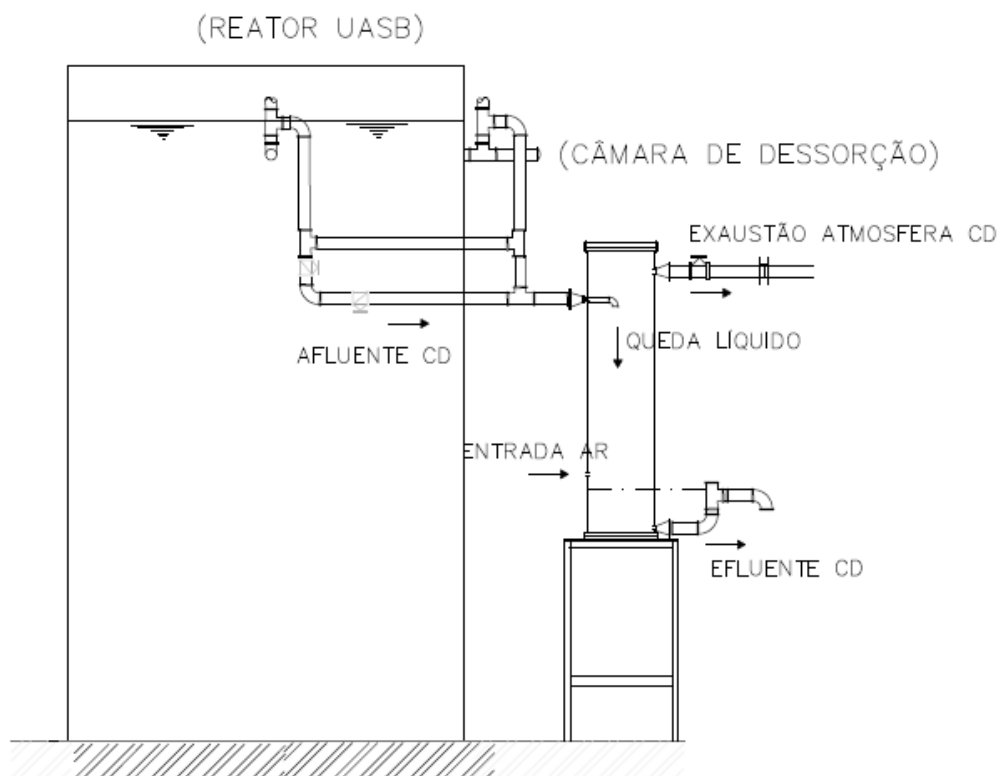


Figura 4 - Esquema de operação da câmara de dessorção



Figura 5 – Vista reator UASB mais Câmara de Dessorção

Tubulações e conexões

A câmara será instalada junto à saída do reator UASB e uma tubulação de PVC vai direcionar o esgoto tratado para a CD. No fundo da câmara será instalado a tubulação de retirada do efluente além de um sistema de descarga para limpeza periódica. Pontos de entrada de ar, em determinados locais da câmara também serão adaptados, assim, testes poderão ser feitos ao longo do tempo de operação sobre a influência da localização na eficiência de remoção. Como já escrito em metodologia, uma base para adição de meio suporte será instalada, além de um ponto para injeção de ar na parte inferior da câmara, contemplando a promoção do *stripping* na unidade. Além disso, na parte superior da câmara será instalado uma abertura para conexão do exaustor, promovendo a sucção da atmosfera gerada na câmara.

Programa de monitoramento

Serão feitas coletas duas vezes por semana, juntamente com medição vazão, que será realizada pelo método volumétrico. O monitoramento do processo se dará por meio de análises físico-químicas da fase líquida e medição de composição e pressão da linha dos gases residuais. Para a fase líquida será inspecionado: sulfato, tiosulfato, enxofre elementar, oxigênio dissolvido, metano e sulfeto dissolvido além de DQO, pH e temperatura. Para a fase gasosa, serão conferidos: metano e sulfeto de hidrogênio.

Alternativas de configuração

Possíveis configurações que podem ser adotadas para futuras operações na câmara de dessorção com o objetivo de se estudar as diferenças na eficiência de remoção para diferentes situações. A Figura 6 - b) utiliza o ponto para injeção de ar na parte inferior da câmara, contemplando a promoção do *stripping* na unidade. A Figura 6 - a) utiliza o apoio na parte inferior da câmara para a instalação de uma base que dará apoio a um meio suporte que pode ser de anéis plásticos aumentando assim a área superficial do sistema, favorecendo a transferência entre o líquido e o gás. Santos (2017), estudou o uso de meio suporte (anéis plásticos) em uma câmara de dessorção avaliando a remoção de CH_4 e H_2S dissolvidos em efluentes de reatores UASB. Após inserir meio suporte, foi observado o incremento de 25,27% na eficiência de remoção de metano dissolvido, passando 63,7% para 88,97% de eficiência. Já para sulfeto de hidrogênio, sem meio suporte, a remoção foi de 77,15% e com os anéis plásticos, passou a ser de 91,52%, representando um aumento de 14,37%. Apesar dos resultados sem meio suporte serem satisfatórios e adicionar mais um fator na instalação e operação do sistema, o uso de uma estrutura que facilita o desprendimento dos gases dissolvidos impulsiona o objetivo de remoção destes gases e passa a ser uma opção interessante no gerenciamento da estação de tratamento. Apreciando ainda que gases dissolvidos quando não tratados, passam a ser um problema para a unidade posterior, o trabalho realizado por Santos (2107) mostra que as concentrações finais no efluente da câmara são 2,32 mg/L e 1,63 mg/L para metano e sulfeto respectivamente. Por fim, a Figura 6- c) apresenta a opção da instalação de pratos que também favorecem o contato entre o líquido e o ar uma vez que o tempo de queda do líquido é maior já que passa por vários obstáculos que obrigam a cumprir pequenos períodos de queda livre.

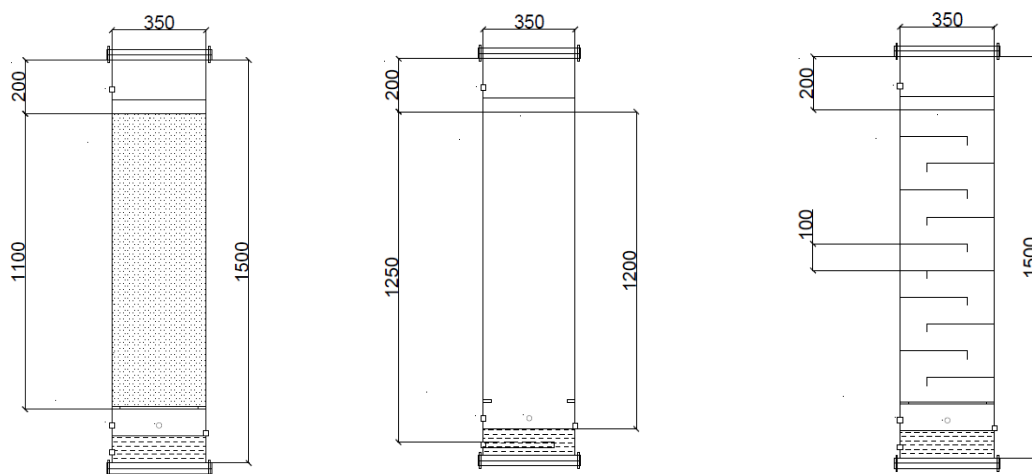


Figura 6 – Adaptações Câmara de Dessorção
a) Stripping b) Meio suporte c) Pratos

CONCLUSÃO

O projeto e construção da Câmara de Dessorção busca produzir parâmetros que servirão de diretriz para a confecção desta tecnologia. A vazão de exaustão baseado no rQ (razão AR/esgoto) igual a 4 pode ser um pouco elevado, representando um potencial gasto energético, mas também traz o aumento de remoção de gases dissolvidos, o que leva a uma tranquilidade na operação das estações de tratamento, principalmente as que possuem comunidade próximas.

A unidade fabricada em acrílico ou PVC pode ser vantajosa para sistemas menores, tanto pelo peso ou pela visibilidade que a câmara em acrílico tem. Entretanto, em sistemas maiores, o custo da tecnologia com esses materiais elevam e passam a ser inviáveis, assim, sistemas de monitoramento de níveis podem ser embutidos para acompanhamento de nível do líquido dentro de reator e não trazer prejuízos, principalmente para a altura de queda projetada inicialmente.

A altura de queda de 1,2 metros pode se mostrar interessante, para estações de tratamento existentes ou também para estações a serem projetadas. Estações com limitação de altura podem optar por diferentes configurações, aumentando o nível de complexidade na operação, mas incrementando a eficiência de remoção de gases dissolvidos sem precisar ter uma altura de queda elevada. Já para estações que serão projetadas e construídas, as alternativas para a câmara de dessorção passa a ser um leque de opções para o projetista, com opções de meio suporte ou não, que vai de acordo o nível de eficiência de remoção e complexidade de operação. No caso da câmara de dessorção simples, as eficiências podem ser um pouco menores, entretanto o nível de operação pode ser bem mais simples e também problemas futuros com entupimento e outras possibilidades de dificuldades passam a ser consideravelmente menores.

Mesmo para câmara de dessorção com a configuração mais simples, as eficiências de remoção esperadas para metano e sulfeto de hidrogênio são entre 60% e 75%, com possibilidades de aumento variando a operação e a configuração da tecnologia, podendo chegar em remoções próximas a 90% para os gases dissolvidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte no desenvolvimento desta pesquisa e na sua divulgação dado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. BANDARA, W. M. K. R. T. W., KINDAICHI, T. SATOH, H., SASAKAWA, M., NAKAHARA, Y., TAKAHASHI, M. OKABE, S. Anaerobic treatment of municipal wastewater at ambient temperature: Analysis of archaeal community structure and recovery of dissolved methane. *Water Research*, v. 46, n. 17, p. 5756 – 5764, 2012.
2. BANDARA, W. M. K. R. T. W. SATOH, H., SASAKAWA, M., NAKAHARA, Y. TAKAHASHI, M. OKABE, S. Removal of residual dissolved methane gas in an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating low - strength wastewater at low temperature with degassing membrane. *Water Research*, v. 45, n. 11, p. 3533 – 3540, 2011.
3. CHERNICHARO, C. A. DE L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. V. 5, 2a edição, 380 p., 2007.
4. COSTA, R. C., SOUZA, C. L., CHERNICHARO, C. A. L., SANTOS, B. B., DIAS, A. T. C. Avaliação de técnicas de desprendimento de gases dissolvidos para o controle de emissões de H₂S em reatores UASB tratando esgoto doméstico. In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 2013. Goiânia. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. 2013.
5. GLORIA, R. M., SOUZA, C. L., CHERNICHARO, C. A. L., CARMO, M. E. A., SILVA, P. V. O. Effectiveness of a Desorption Chamber for the Removal of Dissolved Gases from Anaerobic Effluents. In: 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems, 2016.

6. GLÓRIA, R. M. MOTTA, T. M. SILVA, P. V.O., DA COSTA, P. BRANDT, E. M. F. SOUZA, C. L. CHERNICHARO, C. A. L. Stripping and dissipation techniques for the removal of dissolved gases from anaerobic effluents. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 33, n. 4, p. 713-721, 2016.
7. HATAMOTO, M., YAMAMOTO, H., KINDAICHI, T., OZAKI, A., OHASHI, A. Biological oxidation of dissolved methane in effluents from anaerobic reactors using a down-flow hanging sponge reactor. *Water Research* 44 (2010), 1409-1418.
8. HUETE, A., COBOS-VASCONCELOS, D., MORGAN-SAGASTUME, J., GÓMES-BORRAZ, T., NOYOLA, A. Eliminación biológica de CH₄ y H₂S disueltos en el efluente de un reactor anaerobio que trata aguas residuales municipales. IV Conferencia Latinoamericana de Saneamiento (Lima/Perú), 2016.
9. MATSSURA, N.; HATAMOTO, M.; SUMINO, H; SYUTSUBO, K; YAMAGUCHI, T; OHASHI, A. Recovery and biological oxidation of dissolved methane in effluent from UASB treatment of municipal sewage using a two - stage closed downflow hanging sponge system. *Journal of Environmental Management*, v. 151, p. 200–209, 2015.
10. SANTO, B.C.E.; GLÓRIA, R. M.; MACHADO, L. M.; SOUZA, C. L. Avaliação de câmara de dessorção para remoção de metano e sulfeto de hidrogênio dissolvidos em efluentes de reatores UASB tratando esgoto doméstico. 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. São Paulo. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. 2017.
11. SANTO, B.C.E. Avaliação de câmara de dessorção para remoção de metano e sulfeto de hidrogênio dissolvidos em efluentes de reatores UASB tratando esgoto doméstico. 2017. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017.
12. SOUZA, C. L. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio. 2010. 147 p f. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.
13. SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Methane losses in UASB reactors treating domestic wastewater : mass balance and possible improvements. p. 1 – 8, 2011.
14. TAKAHASHI, M., TAKASHI, Y., KURAMOTO, Y., NAGANO, A., SHIMOZAKI, S., SUMINO, H., ARAKI, N., YAMAZAKI, S., KAWAKAMI, S., HARADA, H. Performance of a pilot-scale sewage treatment: An up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) and a down-flow hanging sponge (DHS) reactors combined system by sulfur-redox reaction process under low-temperature conditions. *Bioresource Technology*, n.102, p. 753-757, 2011.