

UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE BAIXO CUSTO

Resumo

Até alguns anos atrás, os sistemas anaeróbicos de tratamento de efluentes eram considerados como "caixas pretas", cheios de segredos e truques, que apenas poucas pessoas e companhias poderiam projetar e operar. As companhias que detinham esta tecnologia colocavam barreiras para proteger seus processos, criando uma falsa imagem de ser este um assunto muito complicado.

Hoje em dia as coisas mudaram. Os processos anaeróbicos são simples, confiáveis e acessíveis, e podem ser projetados, instalados e operados com criatividade, com a utilização de materiais e mão de obra locais, de baixo custo. Ainda existem alguns segredos, sem dúvida, porém são simples de compreender, e referem-se ao pré-tratamento dos efluentes a montante do reator, ao projeto do reator em si e à operação do sistema.

Introdução

Em 1987 a Acqua Engenharia foi "forçada" a projetar seu primeiro reator anaeróbico, um reator UASB de 760 m³ (UASB significa Upflow Anaerobic Sludge Blanket, ou Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente em Manto de Lodo, a mais popular concepção de reatores anaeróbicos do mundo, denominada no Brasil de RAFA - Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente); a velha fábrica de papel reciclado não dispunha de área para implantação de um sistema aeróbico de tratamento, e, mesmo que tivesse, a potência de aeração necessária seria da ordem de 240 CV, o que inviabilizaria o processo; as autoridades ambientais locais não forneceram prazo para estudos em planta piloto do processo anaeróbico. Então, lá estava ele - com alguma revisão e pesquisa na literatura e uma boa dose de bom senso - nascia um reator anaeróbico.

Este reator ainda opera perfeitamente a 100 m³/h, o lodo anaeróbico é bastante granuloso, e as eficiências de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) são elevadas (88 % e 96 % respectivamente).

Desde então, a Acqua Engenharia tem projetado e operado diversas outras plantas, descobrindo que reatores anaeróbicos não são o "bicho-de-sete-cabeças" que algumas companhias tentaram criar.

Neste artigo serão apresentados alguns dos "segredos e truques" do projeto e da operação dos reatores anaeróbicos.

Geração de Efluentes

Na realidade, o sucesso de um sistema anaeróbico de tratamento de efluentes começa com a compreensão de como as águas residuárias são produzidas no processo industrial e atingem a ETE (Estação de Tratamento de Efluentes).

Especialmente em fábricas de bebidas devem ser considerados os seguintes pontos no projeto e operação dos sistemas de tratamento:

- as águas residuárias da preparação em batelada de xarope devem ser segregadas dos demais despejos, para separação adequada de sólidos (carvão ativado e terra diatomácea), e então dosadas continuamente no fluxo principal de efluentes.
- efluentes da limpeza CIP (Cleaning in Place) devem ser coletados e estocados para dosagem contínua nos demais efluentes.
- Descartes de águas residuárias da recuperação de NaOH também devem ser estocadas e dosadas.
- atenção especial deverá ser dada aos produtos químicos auxiliares utilizados no processo, tais como lubrificantes de esteira, e produtos de limpeza de pisos e desinfetantes; alguns compostos podem ser tóxicos às bactérias anaeróbicas e devem ser substituídos por outros que sejam biodegradáveis e não-tóxicos.

Projeto do Sistema de Tratamento

A primeira coisa a ser compreendida no projeto e na especificação de reatores anaeróbicos é que os mesmos são apenas parte do sistema completo de tratamento de efluentes. Esta parte apenas removerá a poluição orgânica dos efluentes, e será altamente dependente da confiabilidade dos processos preliminares de pré-tratamento e tratamento primário, ou seja, de como a água residuária será "preparada" para alimentar o reator anaeróbico:

- deverão ser removidos sólidos em suspensão e areia.
- a utilização de um tanque de equalização de fluxo e composição (6 - 8 horas de tempo de retenção) a montante do reator anaeróbico é fundamental para a operação adequada; na realidade, além da equalização propriamente dita, várias reações bioquímicas ocorrem neste tanque, provocando a acidificação bioquímica do efluente (compostos orgânicos complexos são "quebrados" em cadeias carbônicas menores, formando ácidos orgânicos, os quais são subsequentemente transformados a ácido acético, o precursor principal da formação do metano - CH₄).
- deve ser previsto um sistema adequado de controle de pH, e o efluente deve ser alimentado ao reator anaeróbico valores entre 6,9 e 7,6 unidades de pH; alguns operadores tem uma tendência a ajustar o pH de alimentação a valores mais elevados a fim de obter valores próximos à neutralidade na saída do reator, no entanto o que estão fazendo é apenas compensar a acidificação do reator em más condições de operação; quando um reator anaeróbico encontra-se em boas condições de operação, o despejo alimentado com pH próximo à neutralidade produzirá também um efluente tratado neutro.
- Nutrientes são necessários (N e P), e devem ser dosados à entrada do tanque de equalização; os valores recomendados devem obedecer as seguintes proporções: DQO/N < 70 e DQO/P < 350.
- A temperatura exerce um papel fundamental na biodigestão anaeróbica. Os melhores resultados são atingidos na faixa de 28-34 °C. Abaixo de 22 °C decrescem consideravelmente as eficiências de remoção de DQO e DBO, e acima de 34 °C o processo não é estável; no Brasil e em outros países de

clima quente, normalmente não se requer aquecimento adicional do efluente ou do reator, o que é altamente recomendável em países de clima frio.

Projeto do Reator Anaeróbico

Existem vários novos conceitos em projeto de reatores anaeróbicos. A literatura especializada encontra-se disponível e cobre uma grande variedade de tecnologias e processos. O projeto mais popular, o chamado UASB, ou RAFA, não tem nenhum segredo, e é muito fácil de construir e operar. Os principais parâmetros de projeto e características destes reatores são:

- **Carga Volumétrica:** refere-se à quantidade diária de compostos orgânicos, simbolizados e expressos genericamente pela DQO, aplicada ao volume do reator, e é expressa em kg COD/d.m^3 ; este parâmetro situa-se usualmente entre $5 - 15 \text{ kg COD/d.m}^3$, e os valores recomendados dependem do tipo de efluentes e das eficiências de remoção de DQO e DBO a serem obtidas; elevadas eficiências podem ser obtidas com baixas cargas volumétricas, tais como 2 kg COD/d.m^3 .
- **Distribuição Inferior de Efluente:** trata-se de um conceito muito importante, na medida em que o efluente a ser tratado deve ser distribuído uniformemente no fundo do reator anaeróbico, de forma a permitir um contato adequado entre a matéria orgânica a ser degradada e o manto de lodo anaeróbico; os valores usuais de projeto são entre 2 e 4 m^2 por ponto de injeção de efluente no fundo do reator; os projeto de reator da Acqua Engenharia adotam entradas individuais para cada ponto de injeção, com cada entrada localizada no topo do reator e alimentada por vertedores triangulares; trata-se de uma concepção simples e funcional, uma vez que permite visualizar a qualquer momento se qualquer dos pontos de injeção encontra-se entupido, e assegurar que a distribuição de fluxo é realmente uniforme.
- **Velocidades no Interior do Reator:** a velocidade do efluente no interior do reator deve ser verificada em cada etapa de seu trajeto; alguns números básicos são:
 - - velocidade ascensional no fundo do tanque: $1.0 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ max.
 - - velocidade na passagem do separador gás/liquido/sólido: $3 - 5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$
 - - velocidade ascensional na parte superior de decantação depende da qualidade do lodo, até $1 - 3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ para lodo granulado
- **Sistema de Coleta do Efluente Tratado:** assim como a distribuição do efluente no fundo do tanque, a coleta uniforme do efluente tratado na superfície do reator anaeróbico é importantíssima; canaletas de distribuição são distribuídas no nível d'água, e cada uma deve incluir vertedores ajustáveis que permitam ajustes para uniformização da coleta em toda superfície.
- **Projeto do Separador Gás/Sólidos/Liquido e do Sistema de Coleta de Gás:** deve ser adequadamente projetado de forma a reter o lodo no interior do reator anaeróbico, evitando-se entupimentos e arraste de lodo e espuma.

Operação e Controle do Reator Anaeróbico

Na realidade, algumas plantas anaeróbicas que não funcionam adequadamente tem seus problemas causados devido à falta de informação de seus usuários, além de uma forte dose de preconceito (ah não, isso aí é um reator anaeróbico, e ninguém sabe como lidar com isso ...). Este paradigma foi criado devido à "síndrome da caixa preta" citada no início deste artigo.

Hoje em dia, a operação de reatores anaeróbicos pode ser considerada simples, se alguns conceitos básicos forem compreendidos.

O fundamento básico principal trata-se do princípio da digestão anaeróbica, isto é, compostos orgânicos complexos são quebrados até serem transformados em ácido orgânicos (às vezes chamados por alguns de ácidos "graxos", ou ainda ácidos "voláteis"), e então estes ácidos são transformados em metano, CO₂, água e células de bactérias anaeróbicas. Este princípio pode ser simplificado conforme segue (as reações reais são mais complexas e incluem outras sub-reações):

Compostos Orgânicos Complexos

Ácidos Orgânicos

CH₄ + H₂O + CO₂ + Células

Quando se compreende o conceito acima de acidificação/metanização, torna-se fácil compreender que controlar o processo é bastante simples, com base na análise diária dos seguintes parâmetros:

- **DQO** de entrada e saída do reator: representa quanta matéria orgânica foi removida no reator anaeróbico, e deve ser superior a 80% em condições adequadas de operação; a DQO (ou os compostos orgânicos) são removidos somente quando transformados em CH₄ (metano); se a conversão for parcial, os compostos orgânicos complexos são transformados a ácidos orgânicos, e como consequência as análises de DQO ainda apresentarão resultados elevados, com redução do pH.
- **Ácidos Voláteis e Alcalinidade Total** nas partes inferiores e superiores do reator: representa o nível de ácidos orgânicos no reator; seus valores, quando analisados juntamente com o pH, remoção de DQO e geração de metano, fornecem uma visão clara sobre o equilíbrio de compostos orgânicos / ácidos / metano; a maneira mais fácil e rápida de determinar as condições de operação de um reator é por meio da relação AV/AT (Acidez Volátil / Alcalinidade Total), que pode representar:
 - abaixo de 0.15 -----> operação estável: a maior parte dos compostos orgânicos foi convertida a CH₄.
 - entre 0.15 e 0.20 -----> a operação requer cuidado; o reator está próximo de uma sobrecarga.

- entre 0.20 e 0.25 -----> deve-se prestar atenção máxima ao processo; o reator está quase sobrecarregado (o termo sobrecarregado significa que a relação entre a carga orgânica e a quantidade de bactéria ativa presente no reator é tão alta que os microorganismos não conseguem "comer" os compostos orgânicos e convertê-los a CH₄).

- acima de 0.25 -----> o reator está "acidificado", o que significa que a conversão é predominantemente até ácidos orgânicos, que não são convertidos a CH₄; ou seja, muita acidificação para pouca metanização.

- **pH:** uma vez que a acidificação x metanização determina o equilíbrio das reações bioquímicas no reator anaeróbico, o monitoramento do pH é essencial; quando ocorre "acidificação", a primeira ação que normalmente poderia se pensar seria elevar o pH de entrada do reator, o que na maioria das vezes pode ser uma decisão errada, uma vez que não resolverá o problema da causa principal do equilíbrio, ou seja, uma sobrecarga.

- **Vazão de Biogás:** a verificação da geração de biogás contra a carga orgânica de entrada (horária ou diária) permite saber se um reator anaeróbico está operando adequadamente ou não; a taxa de conversão teórica é de 0,45 Nm³ /kg COD; o conhecimento de variações instantâneas da formação de biogás permite diagnosticar a atividade metanogênica das bactérias anaeróbicas, e mesmo avaliar cargas instantâneas de agentes tóxicos ou inibidores.

- **Composição do biogás:** exerce aproximadamente o mesmo papel do item acima; a composição de um "bom" biogás é de 60 - 65 % CH₄.

- **Start-up de Reatores:** deve ser conduzida seguindo os conceitos acima, com aumento gradual da vazão e carga orgânica de alimentação; a inoculação de lodo granular oriundo de outro reator é altamente recomendada, visando a redução do tempo de start-up. O início de operação deve ser realizada com uma baixa vazão de efluente, com uma carga hidráulica mantida por meio de recirculação do efluente tratado; a vazão de entrada pode então ser aumentada gradativamente a medida que os parâmetros de controle acima mencionados sejam atingidos ou mantidos.

Conclusão

O tratamento anaeróbico de efluentes é um processo de baixo custo, e encontra-se pronto para ser considerado como simples e confiável. As principais vantagens sobre os processos convencionais aeróbicos são a reduzida área necessária para implantação, menor consumo de energia, menor necessidade de nutrientes, e a possível utilização energética do biogás.

É também uma excelente opção para o upgrading de plantas de tratamento aeróbicas existentes, quando um reator anaeróbico pode ser implantado a montante do sistema aeróbico, reduzindo a energia de aeração.

A figura 1 apresenta um fluxograma indicativo de uma ETE incluindo um reator anaeróbico. Esta planta foi projetada para uma fábrica de refrigerantes, para tratamento de 35 m³/h e 2.000 mg DQO/l.