

O MANEJO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE FORMA TECNICAMENTE SEGURA E COM MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS

Marcos von Sperling, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. do Contorno, nº 842 – 7º andar – Centro – Belo Horizonte – MG – Brasil – CEP 30.110-060– Tel: (31) 3238-1935 – e-mail: marcos@desa.ufmg.br

IMPORTÂNCIA DO CONTROLE OPERACIONAL

Introdução

Os benefícios de qualquer sistema de tratamento de águas residuárias, seja aeróbio ou anaeróbio, só serão alcançados de forma otimizada se uma seqüência lógica de ações for observada, conforme ilustrado na Figura 1.

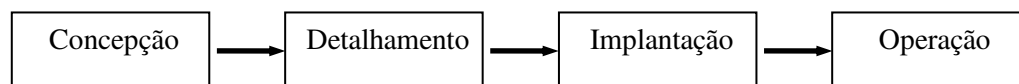


Fig. 1 - Fluxograma de ações para a consecução de um sistema de tratamento de esgotos

Dessa forma, pode-se depreender, a partir do fluxograma acima, que os objetivos principais de qualquer sistema de tratamento de águas residuárias, que são a proteção à saúde da população e a preservação do meio ambiente, só serão atingidos se o projeto de tratamento for bem concebido, bem detalhado, bem implantado e, também, corretamente operado. É em relação a essa última ação que o controle operacional da estação de tratamento ganha importância fundamental.

Verificação de parâmetros operacionais

Em países com pouca tradição no tratamento de efluentes, usualmente as novas estações de tratamento são projetadas com base em parâmetros nem sempre muito confiáveis e, muitas vezes, importados de referências estrangeiras. De uma maneira geral, é durante a fase de operação do sistema que tais parâmetros podem ser verificados, tendo em vista os valores originalmente assumidos durante a fase de projeto. Dentre os diversos parâmetros de importância que devem ser verificados durante a fase operacional do sistema, pode-se citar:

- vazões afluentes ao sistema;
- características físico-químicas e microbiológicas do esgoto afluente;
- eficiência e problemas operacionais das unidades de tratamento preliminar;
- produção e características do material retido nas grades e na caixa de areia;
- eficiência e problemas operacionais dos reatores biológicos e eventuais decantadores;
- quantidades e características do biogás produzido no reator anaeróbio;
- quantidade e características do lodo produzido; etc.

Esses parâmetros operacionais, dentre outros, podem ser avaliados adequadamente a partir da implementação de um programa de monitoramento e, posteriormente, poderão ser comparados com os valores originalmente assumidos em projeto, possibilitando:

- uma revisão ou adaptação das estratégias operacionais inicialmente previstas para o sistema;
- um poder de decisão mais fundamentado, tendo em vista eventuais planos de expansão do sistema. Caso as vazões e cargas orgânicas estejam aquém das previsões de projeto, poderá ser ampliado o alcance de projeto e reduzido o investimento com a expansão do sistema nos anos subsequentes. Ao contrário, uma constatação de vazões e cargas orgânicas além das previstas em projeto indicará que o alcance de projeto deverá ser reduzido e que recursos financeiros deverão ser viabilizados para a expansão do sistema.

Melhoria das condições operacionais

Outro aspecto importante relativo ao controle operacional do sistema de tratamento é que este pode levar a uma otimização das condições operacionais da estação de tratamento, visando a redução dos custos e o atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental. Nesse sentido, alguns aspectos operacionais podem ser destacados:

- Determinação da melhor rotina de descarte e de desaguamento do lodo excedente. No caso de estações de tratamento que procedam ao desaguamento do lodo em leitos de secagem, poderão ser avaliadas as frequências de descarte e cargas de sólidos nos leitos que conduzam a menores ciclos de secagem. Assim, a otimização do descarte e do desaguamento do lodo implicará diretamente na redução do volume de lodo seco a ser transportado até o local de disposição final. Ainda, uma frequência de descarte adequada refletirá diretamente em uma menor perda de sólidos no efluente final, implicando em uma melhor qualidade do efluente em termos de sólidos suspensos e de DQO e DBO particulada. Tem-se, portanto, reflexos diretos no atendimento ou não aos padrões da legislação ambiental.
- Definição das melhores práticas e rotinas de operação e limpeza das unidades de gradeamento e de desarenação, buscando otimizar a eficiência dessas unidades de tratamento preliminar. Com isso, poderá se maximizar a retirada de materiais grosseiros e de areia presentes no esgoto afluente, evitando que estes sejam introduzidos no reator biológico. Estes materiais são altamente prejudiciais ao funcionamento do reator, podendo ocasionar não apenas a obstrução das tubulações de distribuição dos esgotos, como também a sua acumulação no interior do reator, que ocasiona a diminuição do seu volume útil e, conseqüentemente, uma queda da eficiência do sistema.
- Identificação de pontos com ocorrência de maus odores, visando possibilitar maior segurança e conforto ambiental aos operadores e às pessoas que vivem nas imediações da estação de tratamento. Nesse sentido, o acompanhamento efetivo das unidades potencialmente mais sujeitas à emissão de gases fétidos (tratamento preliminar, elevatória, reator anaeróbio e leitos de secagem) possibilitará maior conhecimento dos pontos problemáticos, facilitando a tomada de providências e a implementação de adaptações que possibilitem o controle dos odores.

Saúde e segurança dos trabalhadores

Adicionalmente aos aspectos citados anteriormente, o controle operacional constitui-se em importante instrumento para a identificação de práticas e rotinas que possam promover a melhoria da saúde e da segurança dos trabalhadores.

Os riscos à saúde sempre foram motivo de preocupação nas estações de tratamento de esgotos, uma vez que tanto a *incapacitação* como as *doenças ocupacionais* resultam no sofrimento e na perda de recursos humanos. Ainda, ambas causam um efeito negativo na eficiência do sistema de tratamento, na moral dos empregados, nas relações públicas e nos custos. Um bom programa de saúde e segurança dos trabalhadores deve incorporar três elementos principais:

- *Política definida de saúde e de segurança*: incorpora os fundamentos de todo o programa de saúde e segurança, fornecendo aos trabalhadores a mensagem-chave do programa e deixando claro que o mesmo tem o apoio das instâncias superiores. O apoio deve ter visibilidade, ou seja, as gerências devem apoiar o programa com ações e também com recursos financeiros.
- *Comissão de saúde e de segurança do trabalho*: deve ser composta por representantes da gerência, dos supervisores e dos trabalhadores. Algumas tarefas específicas que a comissão pode desempenhar são: i) conduzir o programa de saúde e de segurança; ii) realizar inspeções sistemáticas; iii) sugerir e fornecer treinamento; iv) conduzir investigações de acidentes; v) manter os registros das ocorrências; e vi) elaborar um manual de saúde e de segurança.
- *Treinamento de saúde e de segurança*: os supervisores da estação de tratamento devem, antes de tudo, ter suas próprias atitudes e interesse na saúde e na segurança, possibilitando, dessa forma, adquirir o completo conhecimento e entendimento das diversas formas de prevenção de acidentes e doenças ocupacionais. Todos os novos empregados devem cumprir um programa de saúde e de segurança, assim como todos os empregados devem receber treinamento sempre que um novo equipamento ou processo for adicionado à estação de tratamento.

Controle Operacional do Sistema de Tratamento

Conceitos básicos

A presença de pessoal de operação e manutenção é uma condição necessária para assegurar o funcionamento apropriado de qualquer sistema de tratamento. As três principais atividades de controle de sistemas de tratamento são:

- *operação*: refere-se às atividades cotidianas ou periódicas necessárias para assegurar um bom e estável desempenho do sistema de tratamento;
- *manutenção*: refere-se às atividades para manter as estruturas na planta de tratamento em boas condições; e
- *informação*: refere à comunicação, de preferência por escrito, entre as diferentes pessoas envolvidas, criando-se ao mesmo tempo um arquivo da operação e manutenção do sistema de tratamento.

Em termos de controle operacional, seus principais objetivos são:

- produzir um efluente final com uma qualidade tal que satisfaça os padrões de lançamento
- reduzir a variabilidade da qualidade do efluente
- evitar grandes falhas do processo
- reduzir os custos de operação
- aumentar a capacidade de tratamento sem a expansão física do sistema
- implementar uma operação com eficiência variável, de forma a acomodar variações sazonais
- reduzir as necessidades de mão de obra
- permitir uma partida mais rápida

As cargas afluentes a uma estação de tratamento de esgotos, sendo altamente variáveis, representam um incentivo para a adoção de controle operacional, mas ao mesmo tempo introduzem uma grande dificuldade na sua implementação. O controle de uma estação de tratamento de esgotos difere do controle de um processo industrial, principalmente devido à grande variabilidade nas características do afluente. Nos processos industriais, onde as técnicas de controle têm sido tradicionalmente empregadas, as características do afluente são determinísticas, ou exibem pequenas variações em torno do valor de referência, sendo usualmente diretamente controláveis. Uma complexidade adicional dos sistemas de tratamento biológico resulta da sua própria dinâmica, a qual contém (a)

não linearidades, (b) faixas bem amplas de constantes de tempo, (c) uma cultura heterogênea de microrganismos metabolizando um substrato heterogêneo, (d) imprecisão e (e) estabilidade interrompida por falhas abruptas.

Em termos de controle operacional automatizado, dificuldades adicionais que reduziram a sua aplicação de uma forma mais ampla são:

- as características do afluente são de uma natureza dinâmica e estocástica, com distúrbios desconhecidos e ruídos de medição superpostos a variações no processo
- o efeito das ações de controle varia para as diferentes variáveis do processo, tanto em termos da defasagem de tempo, quanto da magnitude da resposta
- há uma carência de confiáveis sensores on-line para *algumas* variáveis do processo
- nem todas as variáveis do processo podem ser medidas diretamente
- as ações de controle são usualmente restringidas pelas restrições físicas do sistema
- em várias estações, a possibilidade de controle é limitada devido a um projeto pouco flexível
- há dificuldades em se incorporar modelos do processo complexos nos algoritmos de controle e, de forma oposta, há limitações nas estratégias de controle baseadas em modelos do processo bastante simplificados

No entanto, recentemente, diversos destes problemas têm sido reduzidos, através do desenvolvimento de sensores mais robustos, informatização mais barata e acessível, modelos matemáticos mais confiáveis, novos algoritmos de controle e projetos mais flexíveis e adaptáveis a estratégias automatizadas.

Alguns conceitos básicos de engenharia de controle, tal como aplicados a estações de tratamento de esgotos, são brevemente descritos a seguir.

O controle operacional de uma estação de tratamento pode ser classificado da seguinte forma, de acordo com o grau de automação:

- operação manual, com (a) avaliação do desempenho pelos sentidos humanos e (b) controle manual do processo
- operação manual, com (a) avaliação do desempenho por análises ou instrumentos indicadores ou registradores e (b) controle manual do processo
- controle automático, com (a) avaliação do desempenho por sensores automatizados e (b) controle automatizado do processo

Em um sistema de controle, um passo importante é a identificação das variáveis envolvidas no processo. Quatro tipos podem ser distinguidos (ver exemplo na Figura 2, para o processo de lodos ativados):

- *variáveis de entrada*
- *variáveis de controle* (variáveis de estado e/ou variáveis de saída)
- *variáveis medidas* (variáveis de entrada e/ou variáveis de controle)
- *variáveis manipuladas*

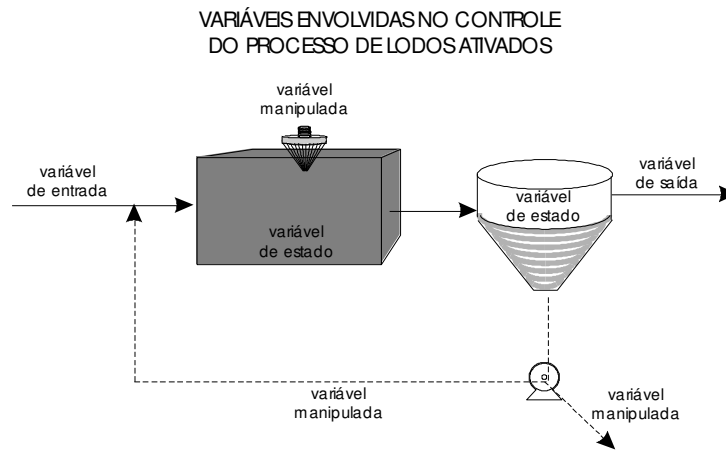


Fig. 2 - Variáveis envolvidas no controle do processo de lodos ativados

As *variáveis de entrada* são aquelas que forçam o sistema e que não podem ser diretamente controladas na maior parte das estações de tratamento. Exemplos são as características do afluente, como vazão, DBO, SS e NTK.

As *variáveis de controle* são aquelas que necessitam ser controladas. Estas incluem as *variáveis de estado*, como SSTA, OD e nível da manta de lodo. Um caso particular destas é representado pelas *variáveis de saída*, as quais definem a qualidade do efluente, tal como DBO, SS e N efluentes.

As *variáveis medidas* são as variáveis de entrada, controle ou outras, as quais fornecem informações para a definição da ação de controle. A seleção das variáveis depende do algoritmo de controle e da adequabilidade para medição direta ou on-line.

As *variáveis manipuladas* são aquelas que são alteradas de forma a manter as variáveis de controle no nível desejado, tal como determinado pelo algoritmo de controle. Os processos de tratamento de esgotos são relativamente pobres em termos de disponibilidade de variáveis manipuladas, comparados a linhas de produção industriais. As principais variáveis manipuladas nos sistemas de tratamento de esgotos são:

- *nível de aeração* (coeficiente de transferência de oxigênio - K_La)
- *vazão de recirculação* (Q_r)
- *vazão de lodo excedente* (Q_{ex})

Alguns processos, como lodos ativados, contam com as três variáveis. Outros processos, como os reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) contam com apenas a vazão de descarte do lodo excedente. Já outros processos, como as lagoas de estabilização, não contam com nenhuma destas variáveis.

Outras variáveis manipuladas podem ser a vazão afluente (caso haja tanques de equalização), bypass parcial da vazão afluente, armazenamento do lodo de retorno (requerendo um tanque adicional), variação do ponto de entrada do afluente em reatores de alimentação escalonada e variação da altura útil nos reatores biológicos (ex: lagoas).

Algoritmos de controle

No campo da engenharia de controle existem diversos algoritmos que podem ser utilizados no tratamento de esgotos, especialmente em processos mais sofisticados, como o de lodos ativados. Os mais comuns são o controle “*feedback*” (retroalimentação) e o controle “*feedforward*”.

O controle **feedback** mede a variável de saída e toma uma ação corretiva baseada no desvio com relação ao ponto de operação. Um exemplo comum é o controle de OD, o qual é medido a cada intervalo de tempo pré-determinado, aumentando-se ou diminuindo-se K_{La} (variável manipulada) em função da comparação entre a concentração atual e a desejada. Para se garantir uma pronta resposta, a dinâmica da variável de controle deve ser rápida, como é o caso com o OD, em que as variações ocorrem num período relativamente curto, devido ao rápido consumo de oxigênio pelos microrganismos e a rápida transferência de oxigênio pelos aeradores. No controle por *feedback*, não é necessário conhecer-se o sistema, já que as ações são baseadas em desvios que já ocorreram.

O outro algoritmo de controle é o **feedforward**, no qual as ações corretivas são baseadas na medição das variáveis de entrada, e através de um modelo dinâmico do sistema, as variáveis de controle e os desvios do ponto de operação são estimados, conduzindo finalmente ao ajuste das variáveis manipuladas. Um exemplo é o controle de SSTA através da manipulação da vazão de lodo excedente (Q_{ex}). Como a resposta do sistema a variações em Q_{ex} é lenta, a utilização de um controlador *feedback* não seria adequada, e um processo *feedforward* pode ser aplicado com vantagens. De fato, várias mudanças nos sistemas biológicos são lentas, especialmente aquelas baseadas em reações bioquímicas. De maneira oposta ao controle *feedback*, no caso do controle *feedforward* é necessário um considerável conhecimento do processo, de forma a se poder estimar as variáveis de saída. Infelizmente este ainda não é o caso com os sistemas de tratamento de esgotos, e a incorporação de uma parcela significativa de controle *feedback* será necessária até que o seu comportamento dinâmico seja mais claramente definido.

Outras abordagens de controle que podem ser adotadas são: (a) controle ótimo e (b) controle por sistemas especialistas e variantes. O **controle ótimo** implica na existência de uma função objetivo (ex: custo ou desempenho) a ser otimizada (minimizada ou maximizada) usando técnicas matemáticas apropriadas. Estabelecem-se restrições às variáveis, de modo a conformá-las às limitações físicas do sistema e também a critérios especificados, tais como aqueles relacionados com desempenho ou custo. Os valores das variáveis manipuladas são determinadas por um algoritmo de otimização.

Os **sistemas especialistas** incorporam o conhecimento de especialistas na área, utilizando este conhecimento para resolver problemas dentro desta área para os usuários, cuja capacidade de interpretar a informação e de tomar decisões de controle não é ao nível do especialista. Os sistemas especialistas podem ser usados para o controle do processo ou para diagnóstico e correção de falhas do processo.

ATIVIDADES DA OPERAÇÃO

O efetivo controle operacional de qualquer sistema de tratamento de esgotos, de forma a possibilitar tanto a verificação dos parâmetros operacionais quanto a otimização da rotina operacional, só poderá ser alcançado através da implementação de um adequado programa de monitoramento do sistema.

Esse programa de monitoramento deve ser amplo o suficiente para incluir todos os aspectos relevantes à operação do sistema de tratamento, sem perder de vista, no entanto, a realidade local e a disponibilidade de recursos humanos e materiais. Dessa forma, torna-se importante, não apenas o desenvolvimento de análises físico-químicas e microbiológicas, como também o levantamento de uma série de informações relativas ao funcionamento do sistema.

Normalmente, os sistemas de tratamento podem ser divididos em três partes, conforme apresentado na representação esquemática da Figura 3:

- tratamento preliminar
- tratamento biológico
- tratamento do lodo

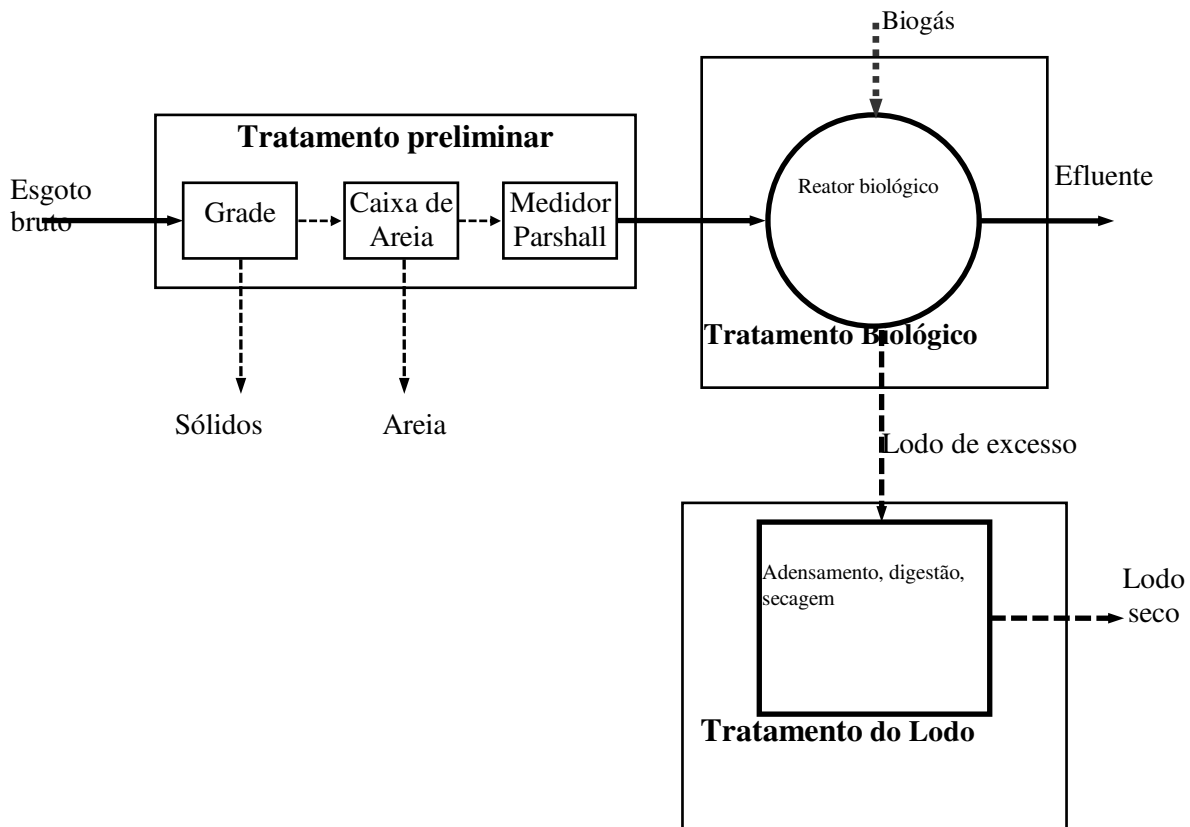


Fig. 3 – Fluxograma típico de uma estação de tratamento anaeróbio de águas residuárias com unidades de pré-tratamento e de desaguamento de lodo

As atividades da operação estão relacionadas com as diferentes partes do sistema de tratamento, distinguindo-se quatro grupos:

- atividades para assegurar o funcionamento apropriado das unidades de pré-tratamento, normalmente compostas de: i) uma grade de barras (mecanizada ou não); ii) caixa de areia ou outro dispositivo de retenção de areia; e iii) dispositivo de medição de vazão, normalmente uma calha Parshall acoplada à caixa de areia.
- atividades para avaliar a eficiência da etapa biológica (reatores e eventuais decantadores). Normalmente, o tratamento biológico é aplicado para remoção dos sólidos em suspensão e do material orgânico, além de reduzir parcialmente os organismos patogênicos.
- atividades para avaliar a estabilidade operacional do reator biológico (ex: estabelecer se há perigo do pH no reator baixar para um valor menor que o mínimo recomendável).
- atividades para determinar a quantidade e qualidade do lodo no reator e na unidade de processamento de lodo de excesso. A quantidade de lodo é importante para se estabelecer o momento de descarga de lodo de excesso. A qualidade de lodo normalmente é avaliada através de testes de atividade e de sedimentabilidade. Quanto à qualidade do lodo de excesso são importantes a

estabilidade ao ser descarregado do reator e a fração de sólidos (ou de umidade) na unidade de desaguamento (leitões de secagem, centrífugas ou filtros).

Adicionalmente a estes quatro grupos específicos, pode haver outros, dependendo do uso previsto do efluente. Por exemplo, quando se pretende usar o efluente (após um tratamento complementar na irrigação), então será importante monitorar o teor dos nutrientes N e P.

Em geral, as tarefas especificadas nos diferentes grupos serão executadas por pessoas diferentes. Assim, os trabalhos referentes ao sistema de pré-tratamento requer a presença freqüente de mão-de-obra para verificar se há entupimentos. Usualmente, a remoção dos sólidos grosseiros e da areia coletados no sistema de pré-tratamento, bem como do lodo seco nos leitões de secagem, será manual, requerendo mão-de-obra que não precisa ser especializada. Por outro lado, a amostragem do sistema de tratamento biológico e a realização das análises para verificar a eficiência, a estabilidade operacional e a massa de lodo no sistema requerem pessoal mais qualificado.

É fundamental a execução de um programa de monitoramento rotineiro e confiável. Há basicamente dois objetivos para o monitoramento:

- verificação da eficiência do tratamento e atendimento às legislações ambientais
- controle operacional e solução de problemas

Vários problemas só podem ser identificados quando se pode comparar os resultados dos diferentes testes e análises previstos no monitoramento com os valores de períodos anteriores. Em muitos casos, o indicativo de um problema operacional não é decorrente do valor absoluto de um parâmetro, mas sim de sua variação. Evidencia-se, assim, a necessidade de se manter os relatórios freqüentes que caracterizam o desempenho e a situação geral do sistema de tratamento.

PREVENÇÃO DA LIBERAÇÃO DE MAUS ODORES

Até recentemente, os sistemas de tratamento de esgotos por processos anaeróbios eram associados a gases mal cheirosos, sendo que isso se tornou o principal impeditivo para uma maior utilização dos processos anaeróbios para o tratamento de efluentes líquidos. Com o maior número de estudos e pesquisas desenvolvidos na área, notadamente a partir da década de setenta, adveio um maior conhecimento da microbiologia e bioquímica do processo anaeróbio e conseqüentemente das medidas a serem adotadas para o controle destes gases.

No que diz respeito à formação de gases mal cheirosos, geralmente associados à redução de compostos de enxofre a sulfeto de hidrogênio (H_2S), devem ser tomadas medidas para se evitar que estes gases escapem para a atmosfera, notadamente quando da existência de habitações próximas à área de tratamento. Como o gás sulfídrico pode escapar do reator tanto por via líquida (dissolvido no efluente) como por via gasosa (coletor de gases), diferentes medidas devem ser tomadas.

Com relação à parcela de H_2S dissolvida no efluente, é necessário que se cubra o reator anaeróbio a fim de se evitar a liberação deste gás para o ambiente. Nesse caso, a cobertura do reator propiciará também a redução da ocorrência de corrosão, uma vez que a entrada de oxigênio será evitada de maneira significativa. O sulfeto de hidrogênio que escapar do reator juntamente com o efluente poderá ser removido através de algum método de pós-tratamento, como por exemplo a precipitação química ou a oxidação química ou bioquímica.

Em relação à parcela de H_2S extraída pelo coletor de gases, juntamente com o metano e o gás carbônico, existem algumas alternativas de tratamento que podem ser aplicadas:

- adsorção, através da passagem do gás por um material poroso, a exemplo do carvão ativado;
- absorção, através do contato do gás com um líquido pouco volátil (solvente), a exemplo do que ocorre em torres empacotadas e em torres com bandejas. Nestas, o gás é aplicado em contra corrente com o solvente, favorecendo o máximo contato entre gás e líquido;
- tratamento biológico, a exemplo dos filtros biológicos e dos biofiltros. Nos filtros biológicos, o fluxo de biogás passa através de uma torre empacotada, contendo elevada quantidade de biomassa aderida a um meio suporte. Com relação aos biofiltros, o biogás é introduzido em um tanque contendo material biologicamente ativo (composto) e os microrganismos se encarregam da descontaminação, gerando produtos inócuos como gás carbônico, água, sais minerais e biomassa microbiana.
- precipitação química, através da passagem por um selo hídrico contendo algum elemento precipitante, por exemplo, precipitação química do sulfeto como FeS.

OUTROS CUIDADOS OPERACIONAIS

Além dos cuidados mencionados anteriormente, a rotina operacional de uma estação de tratamento de esgotos deve incluir outros aspectos igualmente importantes:

- verificação e desobstrução contínua dos dispositivos de alimentação dos reatores e eventuais decantadores.
- verificação de ocorrência de corrosão nas estruturas dos tanques, particularmente das peças metálicas como coletores de gases, guarda-corpos etc. Na eventualidade de alguma ocorrência, as estruturas devem ser prontamente reparadas, visando tanto a integridade da unidade de tratamento quanto a segurança dos operadores do sistema.
- correta destinação de todo o material sólido removido no tratamento preliminar (grades e caixa de areia) e também do lodo descartado da etapa biológica.
- remoção da camada de material flutuante (escuma) que tende a se acumular na superfície livre de decantadores.

REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos (1997). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 5. Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 246 p.

VON SPERLING, Marcos (2002). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4. Lodos ativados*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 2ª ed. 428 p