

Conceitos Principais

1. Efluente na entrada do reator (Vinhaça)

1.1. Equalização de fluxo

O objetivo da equalização de fluxo é minimizar e/ou controlar flutuações nas características do efluente que entra no biodigestor. Os processos anaeróbicos respondem melhor a mudanças graduais nas condições operacionais. Mudanças abruptas e chocantes nas características podem levar à instabilidade do processo e ao mau desempenho. A equalização de fluxo pode evitar sobrecarga ou subcarga de alimentação e garantir operação contínua mesmo durante períodos de baixa ou nenhuma produção de efluente. Para algumas indústrias, os picos de fluxo de efluentes podem ocorrer apenas durante o dia, durante a semana, enquanto dias de produção baixa ou nula ocorrem à noite, nos finais de semana e durante quebras de fábrica ou paradas de manutenção de rotina. Equalização de fluxo garante que os microrganismos no sistema de tratamento sejam alimentados e mantidos vivos em todos os momentos. O tamanho dos tanques de equalização de fluxo deve ser suficiente para acomodar a variabilidade dos fluxos e diluir os lotes concentrados produzidos periodicamente. O tanque deve estar sempre devidamente misturado para evitar curto-circuito, sedimentação indesejada de sólidos e fermentação descontrolada, que pode causar incômodos de odor, saúde e segurança.

1.2. Variações de pH

Se o pH já for ácido na alimentação, pode ser difícil para o pH do sistema do reator permanecer ideal para que todas as atividades microbianas prossigam de forma eficaz, uma vez que é provável que ocorra mais acidificação durante o processo de biodegradação. O pH ideal para processos anaeróbicos está na faixa de 6,5–7,8. Onde os afluentes são ácidos, a correção do pH pode ser alcançada adicionando produtos químicos como cal (Ca(OH)_2), hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH). A cal é uma alternativa mais barata, porém pode ocorrer precipitação excessiva de carbonato de cálcio (CaCO_3) e isso pode causar incrustações e acúmulo de sólidos inorgânicos no reator.

Onde existe uma necessidade consistente e recorrente de correção do pH, é preferível usar uma mistura de cátions para correção de pH para evitar toxicidade de cátions metálicos individuais. A recirculação de efluente tratado para diluição da entrada de águas residuais e uma redução na taxa de alimentação são formas alternativas de proporcionar controle de pH sem adição de produtos químicos.

O controle do pH também pode ser realizado adicionando materiais alcalinos ao afluente quando seu teor de alcalinidade não é suficiente para tamponar o ácido produzido durante o tratamento. A avaliação da capacidade dos sistemas anaeróbicos de fornecer adequadamente a capacidade tampão de ácido pode ser

determinada pela medida de sua relação ácidos graxos voláteis (AGV) / alcalinidade total (AT), ou seja, a razão AGV/AT. Esta relação também é conhecida como FOS/TAC (Flüchtige Organische Säuren/Total Carbono Anorgânico). O VFA é expresso em miligramas equivalentes de ácido acético por litro (mg ácido acético/L), e TA em miligrama equivalente de carbonato de cálcio por litro (mg CaCO₃/L). A Tabela N^o1 fornece diretrizes para a interpretação da relação AGV/AT de sistemas anaeróbicos. A tabela indica que se a relação for inferior a 0,3, é assumido que há baixo risco de mudanças rápidas de pH; consequentemente, o processo anaeróbico é estável e o sistema está funcionando corretamente. Para proporções inferiores a 0,2-0,3 Presume-se que o sistema esteja subalimentado sem risco de instabilidade relacionada ao pH, enquanto proporções superiores a 0,3 indicam um risco potencial de valores baixos de pH e instabilidade do processo. Análise detalhada do FOS/TAC, incluindo métodos de análise e sua aplicação na avaliação das eficiências anaeróbicas.

Cuadro 1: Diretrizes para a avaliação dos índices FOS/TAC

| Relação FOS/TAC | Interpretação | Correção |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Maior que 0.6 | Sobrecarga orgânica excessiva | Parar alimentação |
| 0.5–0.6 | Alta sobrecarga orgânica | Reduzir vazão de alimentação |
| 0.4–0.5 | Alta carga orgânica | Monitore o desempenho do reator |
| 0.3–0.4 | Carga orgânica ideal | Alimentação a vazão constante |
| 0.2–0.3 | Baixa carga orgânica | Aumentar vazão alimentação |
| Menos de 0.2 | Carga orgânica muito baixa | Aumentar vazão rapidamente |

1.3. Controle de temperatura

Como todos os processos biológicos, os processos anaeróbicos são afetados pela temperatura. A Figura N^o1 mostra a relação entre a temperatura e a taxa de biodegradação anaeróbica. Os sistemas de tratamento anaeróbico podem ser operados em

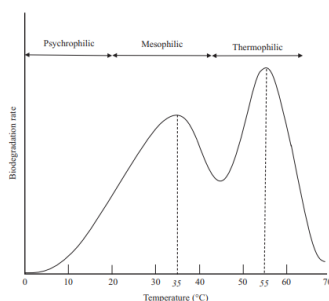


Figura 1: Descripción de la imagen.

1.4. Monitoramento de sólidos

Se houver uma corrente de alimentação com elevadas concentrações de material particulado, a etapa de hidrólise se tornará decisiva para a eficiência do sistema. A hidrólise de material particulado é lenta em comparação com as reações biológicas, razão pela qual, diante de elevadas concentrações de sólidos, serão necessários longos TRH (Tempos de Residência Hidráulica) e grandes volumes nos reatores. Conseqüentemente, pensar em sistemas para a redução de sólidos em um biodigestor pode melhorar a eficiência deste, como também otimizar o sistema como um todo.

- Sedimentação.
- Precipitação química
- Redução de tamanho

Qualquer tipo de melhoria com o objetivo de diminuir o tamanho dos sólidos que entram no reator, bem como qualquer operação unitária que possa efetivamente equalizar o tamanho das espécies moleculares na corrente de alimentação, deve ser avaliada

1.5. Redução de componentes tóxicos

A corrente de alimentação pode conter muitas substâncias tóxicas para os microorganismos. A toxicidade desta depende de sua natureza, concentração e grau de aclimação com o processo biológico. As bactérias anaeróbias podem desenvolver tolerância a uma ampla variedade de toxinas após uma aclimação adequada. São múltiplos os compostos que podem ser considerados tóxicos, mas a continuação destacam-se os principais:

- Amônia
- Sulfeto
- Metais pesados

1.6. Equilíbrio de nutrientes

Os sistemas de digestão anaeróbica requerem quantidades suficientes de macronutrientes, nitrogênio e fósforo para crescer. A deficiência de nutrientes pode ser superada adicionando compostos externos ou por co-tratamento com outras efluentes que contenham os nutrientes deficientes.

2. Parâmetros de design na digestão anaeróbica

2.1. Tempo de residência Hidraulico (TRH)

O tempo de retenção hidráulica (TRH), ou simplesmente tempo de retenção, refere-se ao período médio em que o líquido permanece no reator de tratamento antes de ser descarregado. A equação para o tempo de residência hidráulico (HRT) é:

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

- V é o Volume do reator, em $[m^3]$
- Q $[m^3/h]$ é a Taxa média da Vazao, $[\frac{m^3}{h}]$
- TRH é o Tempo de Residência Hidráulica, em $[h]$

O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) pode variar de 4 a 48 horas, dependendo das características do efluente. A Equação N°1 revela que o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) é diretamente proporcional ao tamanho do reator. Quanto maior a concentração de matéria orgânica nas águas residuais, maior será o tempo necessário para o tratamento. Altas concentrações de sólidos nas águas residuais geralmente demandam um tempo de tratamento mais prolongado, devido ao tempo adicional necessário para a hidrólise dos sólidos. Por outro lado, um TRH muito baixo pode resultar em uma significativa perda de biomassa em sistemas de crescimento suspenso que não possuem adequada retenção de biomassa ou instalações de recirculação para recuperação.

2.2. Tempo de retenção de sólidos (SRT)

O Tempo de Retenção de Sólidos (SRT), também conhecido como "Idade do lodo", oferece uma estimativa do tempo médio que os microrganismos ou a biomassa produzida durante o processo de biodegradação permanecem no sistema antes de serem removidos como resíduos ou excesso de biomassa. A utilização do SRT para o projeto de processos e operações é aplicável apenas em sistemas de crescimento suspenso, nos quais é relativamente fácil estimar a quantidade de biomassa no reator. Este parâmetro é controlado pela taxa de remoção do excesso de biomassa ou "delushing" do sistema, conforme indicado na seguinte equação:

$$SRT = \frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + X_wQ_w} \quad (2)$$

- SRT é o Tempo de Retenção de Sólidos, $[dia]$
- V é o Volume do reator, $[m^3]$
- Q é a Taxa média da Vazao, $[\frac{m^3}{dia}]$

- Q_w é a Taxa média de fluxo de biomassa residual ou Taxa de Inundação, $[\frac{m^3}{dia}]$
- X é a Concentração média de biomassa no reator, $[\frac{KgSV}{m^3}]$
- X_e Concentração média de biomassa no efluente (Saída), $[\frac{KgSV}{m^3}]$
- X_w Concentração média de biomassa em resíduos ou fluxo de biomassa em excesso, $[\frac{KgSV}{m^3}]$

Onde $Q_w \ll Q$, e $X_e \ll X$, a Equação N^o2 se aproxima à seguinte equação:

$$SRT = \frac{VX}{Q_w X_w} \quad (3)$$

TRH muito baixo, que poderiam resultar em uma lavagem indesejada da biomassa, a taxa de remoção excessiva de biomassa torna-se a ferramenta mais crucial para controlar o SRT. A determinação da taxa de remoção de biomassa é influenciada pela carga orgânica e pelas taxas de biodegradação. Reatores de alta taxa são geralmente projetados e operados de maneira a garantir uma alta retenção de biomassa, ou seja, $SRT \gg TRH$. Isso normalmente é alcançado por meio da recirculação de biossólidos separados do efluente tratado ou pelo uso de sistemas de crescimento anexos.

2.3. Carga Hidraulica (HLR)

A taxa de carga hidráulica (HLR) mede a quantidade de líquido aplicado por área unitária do reator:

$$HLR = \frac{V}{A} \quad (4)$$

- V é o Volume do reator, $[m^3]$
- A é a Área superficial, $[m^2]$
- HLR é a Taxa de carregamento hidráulico, $[\frac{m^3}{m^2 Dia}]$

2.4. Carga Organica (OLR)

OLR ou Carga Orgânica Volumétrica representa a quantidade de biodegradável matéria orgânica, expressa em termos de DQO ou DBO, aplicada diariamente por unidade volume do reator, conforme expresso na seguinte equação

$$OLR = \frac{QS_0}{V} \quad (5)$$

- OLR é a Concentração de COD (u DBO) que entra no reator. $[\frac{KgCOD}{m^3 Dia}]$
- Q é a Taxa média da Vazao, $[\frac{m^3}{dia}]$

- V é o Volume do reator, $[m^3]$

Os valores adequados de OLR dependem de muitos fatores, principalmente águas residuais características, temperatura operacional e nível de atividade microbiana dentro do reator. Os valores OLR geralmente são mantidos baixos durante a inicialização e aumentou gradualmente à medida que a estabilidade do reator aumenta, evidenciada pela ótima Faixa de pH e baixo acúmulo de AGV

2.5. Food/organism

A relação Alimento/Microorganismo (F/M) ou taxa de carga de lodo (SLR) representa a quantidade de matéria orgânica biodegradável, expressa em termos de DQO, aplicado diariamente por unidade de biomassa presente no reator, conforme expresso na Equação N^o6

$$f/M_{razao} = \frac{QS_0}{VX} \quad (6)$$

- f/M_{razao} é a Proporção alimento/microorganismo, $[\frac{KgCOD}{KgSVDia}]$
- Q é a Taxa média da Vazao, $[\frac{m^3}{dia}]$
- V é o Volume do reator, $[m^3]$
- X é a Concentração média de biomassa no reator, $[\frac{KgSV}{m^3}]$
- S_0 é a DQO biodegradável influente em águas residuais, $[\frac{KgCOD}{m^3}]$

É usado apenas em sistemas de crescimento suspenso onde o quantidade de biomassa pode ser estimada com mais precisão. A concentração total de sólidos voláteis (VS) no reator é assumida como uma medida da biomassa contente.

Em sistemas anaeróbicos, os métodos utilizados para a determinação do parâmetro X não distinguem entre os acidógenos de crescimento rápido e os metanogênicos de crescimento lento e limitantes. Portanto, a relação F/M raramente é usado no projeto e operação de sistemas anaeróbicos. É, no entanto, um importante parâmetro de projeto e controle operacional no tratamento aeróbio e processos de pós-tratamento (ver Capítulo 6), onde há menos distinção entre as atividades dos microrganismos participantes.

2.6. Specific Biogas Yield

O rendimento específico de biogás quantifica a capacidade máxima de produção de biogás a partir de uma determinada quantidade de composto orgânico. Essa medida é estimada por meio da seguinte equação.

$$\gamma_{Biogas} = \frac{Q_{Biogas}}{Q(S_0 - S_e)} \quad (7)$$

- γ_{Biogas} é o Rendimento específico de biogás, $[\frac{m^3 Biogas}{COD_{removido}}]$
- Q é a Taxa média da Vazao, $[\frac{m^3}{dia}]$
- Q_{Biogas} é a Taxa de produção de biogás, $[\frac{m^3}{dia}]$
- S_0 é a COD na entrada do reator, $[\frac{KgCOD}{m^3}]$
- S_e é a COD na saída do reator, $[\frac{KgCOD}{m^3}]$

O valor teórico do $Y_{biogás}$ é uma constante e estequiometricamente igual para 0,5m³/CODremovido, compreendendo 0,35 (ou 70 %) e 0,15 (ou 30) para metano e dióxido de carbono, respectivamente. Uma comparação do valor real do $Y_{biogás}$ com o valor teórico para vários tipos de águas residuais é importante em compreender o desempenho do sistema e avaliar a precisão dos dispositivos de monitoramento.

2.7. Specific Biogas Production Rate

O BPR é usado para comparar as taxas de produção de biogás por diferentes sistemas anaeróbicos. sistemas de tratamento. É dado pela seguinte equação:

$$BPR = \frac{Q_{Biogas}}{V} \quad (8)$$

- Q_{Biogas} é a Taxa de produção de biogás, $[\frac{m^3}{dia}]$
- V é o Volume do reator, $[m^3]$

2.8. Eficiencia de remocion

A eficiência do tratamento é uma medida da proporção do determinante alvo removido ou transformado no sistema de tratamento. Em águas residuais anaeróbicas tratamento, a eficiência do tratamento é a quantidade de DQO depositada removida em do sistema, e expresso em porcentagem conforme mostrado na seguinte equação:

$$\%COD_{removido} = \frac{S_0 - S_e}{S_0} \times 100 \quad (9)$$

- $\%COD_{removido}$ é a Eficiência na remoção de matéria orgânica
- S_0 é a COD na entrada do reator, $[\frac{KgCOD}{m^3}]$
- S_e é a COD na saída do reator, $[\frac{KgCOD}{m^3}]$

3. Algoritmos computacionais usados

3.1. Análise dos principais componentes (PCA)

4. Desempenho e indicadores de monitoramento de processos

4.1. Alimentação

- Amônia
- Sulfeto
- Metais pesados

4.2. Reator

4.3. saída de gás

5. Metodologia aplicada

5.1. Diagnóstico operacional na empresa

5.2. Coleta e pré-processamento de dados