

## FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

No processo de conversão da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio, são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos como  $\text{NO}_3^-$  ( redução de nitrato ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( redução de sulfato ), ou  $\text{CO}_2$  ( formação de metano ). A formação de metano não ocorre em ambientes onde o oxigênio, o nitrato ou o sulfato encontram-se prontamente disponíveis como aceptores de elétrons. A produção de metano ocorre em diferentes ambientes naturais tais como pântanos, solo, sedimentos de rios, lagos e mares, assim como nos órgãos digestivos de animais ruminantes. Estima-se que a digestão anaeróbia com formação de metano seja responsável pela completa mineralização de 5 a 10% de toda a matéria orgânica disponível na terra. A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial.

As bactérias metanogênicas desempenham duas funções primordiais: elas produzem gás insolúvel ( metano ) possibilitando a remoção do carbono orgânico do ambiente anaeróbio, além de utilizarem o hidrogênio, favorecendo o ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, o qual é convertido em metano. A digestão anaeróbia de compostos orgânicos é normalmente considerada um processo de dois estágios. No primeiro estágio, um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias,

denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas, convertem os orgânicos complexos em outros compostos. Compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo estágio ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico. Esta conversão é efetuada por um grupo especial de bactérias, denominadas formadoras de metano, as quais são estritamente anaeróbias. As bactérias metanogênicas dependem do substrato fornecido pelas acidogênicas, configurando portanto uma interação comensal. Uma vez que as bactérias metanogênicas são responsáveis pela maior parte da degradação do resíduo, a sua baixa taxa de crescimento e de utilização dos ácidos orgânicos normalmente representa o fator limitante no processo de digestão como um todo

### MICROBIOLOGIA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas.

MATÉRIA ORGÂNICA X BACTÉRIAS ANAERÓBIAS =  $\text{CH}_4$  gás metano,  $\text{CO}_2$  gás carbônico,  $\text{H}_2\text{O}$  água,  $\text{H}_2\text{S}$  gás sulfídrico,  $\text{NH}_3$  amônia e novas células.

Os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos:

- O primeiro grupo é composto de bactérias fermentativas que transformam por hidrólise, os polímeros em monômeros, e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose;
- O segundo grupo é formado pelas bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, o qual converte os produtos gerados pelo primeiro grupo ( aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e álcoois ) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;

· Os produtos finais do segundo grupo são os substratos essenciais para o terceiro grupo que por sua vez constitui dois diferentes grupos de bactérias metanogênicas. Um grupo usa o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto o outro produz metano, através da redução do dióxido de carbono.

Embora o processo de digestão anaeróbia seja simplificada considerada como de duas fases, este pode ser subdividido em quatro fases principais, como a Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese

### **HIDRÓLISE**

Uma vez que as bactérias não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos ( polímeros ) em materiais dissolvidos mais simples ( moléculas menores ) os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Esta conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Na anaerobiose, a hidrólise dos polímeros usualmente ocorre de forma lenta, sendo vários os fatores que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado ( Lettinga et al., 1996 e Chernicharo – Reatores Anaeróbios ): temperatura operacional do reator; tempo de residência do substrato no reator; composição do substrato ( ex.: teores de lignina, carboidrato, proteínas e gordura ); tamanho das partículas; pH do meio; concentração de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ; concentração de produtos da hidrólise ( ex.: ácidos graxos voláteis ).

### **ACIDOGÊNESE**

Os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo em diversos compostos mais simples, os quais são então excretados pelas células. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas. Como os ácidos graxos voláteis são o principal produto dos organismos fermentativos, estes são usualmente designados de bactérias fermentativas acidogênicas. A acidogênese é efetuada por um grande e diverso grupo de bactérias fermentativas, a exemplo das espécies *Clostridium* e *Bacteroids*. As primeiras constituem uma espécie anaeróbia que forma esporos, podendo dessa forma, sobreviver em ambientes totalmente adversos. As bacteróides encontram-se comumente presentes nos tratamentos digestivos, participando da degradação de açúcares e aminoácidos. A maioria das bactérias acidogênicas são anaeróbias estritas, mas cerca de 1% consiste de bactérias facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa. Isso é particularmente importante, uma vez que as bactérias estritas são protegidas contra a exposição ao oxigênio eventualmente presente no meio ( Van Handel & Lettinga et al. 1996 e Chernicharo ).

### **ACETOGÊNESE**

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas.

Porem pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propionato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas.

### **METANOGÊNESE**

A etapa final no processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio /dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as

metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético ou metanol, e o segundo que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono, como a seguir:

- bactérias utilizadoras de acetato ( acetoclásticas );
- bactérias utilizadoras de hidrogênio ( hidrogenotróficas ).

Além das fases descritas anteriormente, o processo de digestão anaeróbia pode incluir, ainda, uma outra fase, dependendo da composição química do despejo a ser tratado. Despejos que contenham compostos de enxofre são submetidos à fase de sulfetogênese ( redução de sulfato e formação de sulfetos ), conforme descrito a seguir:

### **SULFETOGÊNESE**

A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante este processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas bactérias redutoras de sulfato ( ou bactérias sulforedutoras ). As bactérias sulforedutoras são consideradas um grupo muito versátil de microrganismos, capazes de utilizar uma ampla gama de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos, e vários compostos fenólicos. As bactérias sulforedutoras dividem-se em dois grandes grupos Bactérias sulforedutoras que oxidam seus substratos de forma incompleta até o acetato e Bactérias sulforedutoras que oxidam seus substratos completamente até o gás carbônico. ( Visser, 1995 e Chernicharo)

### **VANTAGENS DOS PROCESSOS ANAERÓBIOS**

- Baixa produção de lodo, cerca de 5 a 10 vezes inferior a que ocorre nos processos aeróbios;
- Não há consumo de energia elétrica, uma vez que dispensa o uso de bombas, aeradores, válvulas solenóides, painéis elétricos etc.
- Baixa demanda de área, reduzindo os custos de implantação;
- Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;
- Possibilidade de preservação da biomassa ( colônia de bactérias anaeróbias ) , sem alimentação do reator, por vários meses, ou seja, a colônia de bactérias entra em um estágio de endogenia, sendo reativada a partir de novas contribuições. A título de exemplo, podemos citar as casas de praia ou de campo que ficam longos períodos sem nenhuma contribuição, e a partir do uso dessas residências, o sistema volta a operar normalmente.

· É importante frisar, que contrariamente ao processo anaeróbio, nos **processos aeróbios**, onde as bactérias dependem do oxigênio que é injetado através de aeradores, a falta de energia elétrica ou queima de motor, coloca todo o sistema em colapso, uma vez que não havendo oxigênio, perde-se todo o campo biológico ( morrem todas as bactérias aeróbias )

### **DEMANDA POR SISTEMAS DE TRATAMENTO LOCAL**

É de conhecimento amplo a crise que atravessa o saneamento no Brasil, conforme foi identificado pelas pesquisas realizadas pela ABES e pelo IBGE no final dos anos 80 e início dos anos 90. Os dados referentes ao esgotamento sanitário são alarmantes, indicando índices de cobertura da população, por redes coletoras de apenas 30%, e um percentual de municípios que possuem estações de tratamento inferior a 10%.

Mesmo nos municípios que se incluem nesta pequena parcela, em geral, as estações de tratamento atendem a apenas uma parte da população, muitas vezes as eficiências são reduzidas e problemas operacionais são freqüentes. ( Barros et al., 1995 ).

Diante desse enorme déficit sanitário, aliado ao quadro epidemiológico e ao perfil sócio-econômico das comunidades brasileiras, constata-se a necessidade por sistemas locais e simplificados, de coleta e tratamento dos esgotos.

Estes sistemas devem conjugar baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e sustentabilidade do sistema como um todo.

Nesse sentido, as seguintes alternativas, dentre outras, devem ser consideradas:

\* sistemas individuais de tratamento e disposição de excretas e esgotos, a exemplo de:

- fossa seca nas suas diversas modalidades;
- tanque séptico + infiltração no solo;
- tanque séptico + filtro anaeróbio.

\* sistemas coletivos de tratamento de esgotos, a exemplo de :

- lagoa de estabilização;
- aplicação no solo;
- tanque séptico + filtro biológico anaeróbio;
- reator anaeróbio de fluxo ascendente.

No que se refere aos sistemas coletivos de tratamento de esgotos, embora existam outras alternativas, que possam ser utilizadas, entende-se que, atualmente, no Brasil, as quatro relacionadas acima encontram uma maior aplicabilidade.

De um modo geral, todas as quatro atendem, em maior ou menor grau, aos principais requisitos que devem ser observados num estudo técnico - econômico de escolha de alternativas ( adaptado de Von Sperling, 1995 e Lettinga 1995 ):

- Baixo custo de implantação;
- Elevada sustentabilidade do sistema. Pouca dependência de fornecimento de energia, peças e equipamentos de reposição;
- Simplicidade operacional, de manutenção e de controle (operadores e engenheiros altamente especializados );
- Baixos custos operacionais;
- Adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes ( Matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos ) ;

- Pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação;
- Baixos requisitos de área;
- Existência de flexibilidade em relação, às expansões futuras e ao aumento de eficiência;
- Possibilidade de aplicação em pequena escala ( sistemas descentralizados ) com pouca dependência da existência de grandes interceptores;
- Fluxograma simplificado de tratamento ( poucas unidades integrando a estação )
- Elevada vida útil;
- Ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha;
- Possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas;
- Existência de experiência prática.

### **PROGRAMAS EM ANDAMENTO**

Pesquisas e desenvolvimento de reatores anaeróbios ; Programa de Pesquisa em Saneamento Básico ( PROSAB )

Segundo Chernicharo, este programa, iniciado em 1996, visa apoiar o desenvolvimento de pesquisa nas áreas de abastecimento de água, águas residuárias e resíduos sólidos. O programa é financiado pela FINEP / MCT, em ação conjunta com CNPq, Caixa Econômica Federal e Secretaria de Política Urbana do Ministério do Planejamento e Orçamento ( SEPURB ) .

Na área temática “águas residuárias “foi definido o seguinte tema para o primeiro ano de trabalho: Tratamento de esgotos sanitários processos anaeróbios e por disposição controlada no solo. As pesquisas neste tema estão sendo feitas pelas instituições:

- Escola de Engenharia de São Carlos – Depto. de Hidráulica e Saneamento;
- Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Instituto de Saneamento Ambiental;
- Universidade de Campinas - Depto. de Hidráulica e Saneamento;
- Universidade Federal de Minas Gerais – Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental;
- Universidade Federal da Paraíba – Centro de Ciências e Tecnologia / EXTRABES;
- Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Depto. de Engenharia Civil e de Engenharia Química;
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas;

GTZ / TBW Supraregional Sectoral Project

Este programa vem sendo desenvolvido pela empresa alemã TBW GmbH, em cooperação com a GTZ – Agência de cooperação técnica da Alemanha, tendo como principal objetivo a difusão da tecnologia anaeróbia para o tratamento de águas residuais domésticas e industriais e também de resíduos sólidos

#### **NOMENCLATURA DE REATORES ANAERÓBIOS**

A denominação de alguns tipos de reatores no Brasil, notadamente os de manta de lodo, é sem dúvida bastante confusa. Esses reatores, que na sua versão mais aperfeiçoada tiveram sua origem na Holanda, na década de setenta, após trabalhos desenvolvidos pela equipe do Prof. Gatze Lettinga, na Universidade de Wageningen, foram denominados de reatores

UASB - UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REATORS

Na tradução para o português, os mesmos deveriam ser denominados REATORES ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE e MANTA DE LODO. No Brasil tem sido divulgadas novas terminologias para a

identificação desse tipo de reator, sendo que pelo menos cinco siglas são de uso freqüente em nosso meio, cada qual com suas características específicas:

- **RAMA - REATOR ASCENDENTE DE MANTA ANAERÓBIA;**
- **DAFA - DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE;**
- **RAFA - REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE;**
- **RALF - REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIFICADO;**
- **UASBALL - REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE ATRAVÉS DE LEITO DE LODO.**

Entende-se que estas siglas, em geral, apresentam impropriedades, além de não contribuírem para a difusão dessa modalidade de tratamento, nem para harmonização de reatores anaeróbios. Da mesma forma, alguns processos de tratamento que são de longa data conhecidos no Brasil, conservam seus nomes originais, traduzidos ou não, como é o caso do processo de lodos ativados ( activated sludge process ) ou processo UCT – University of Cape Town Process.

**Fonte: FLIPPER - TECNOLOGIA EM FIBERGLASS LTDA.**