

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA COM ATRIBUIÇÕES TECNOLÓGICAS
MONOGRAFIA DE PROJETO DE CURSO



TRATAMENTO DE EFLUENTES
EM INDÚSTRIA DE BEBIDAS

Aluna: Julia Rodrigues Dib Sêna

Orientador: Prof. Júlio Carlos Afonso

NOVEMBRO DE 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE QUÍMICA

CURSO DE QUÍMICA COM ATRIBUIÇÕES TECNOLÓGICAS

TRATAMENTO DE EFLUENTES EM INDÚSTRIA DE BEBIDAS

JULIA RODRIGUES DIB SÊNA

**Monografia apresentada como
requisito parcial à conclusão
do curso de Química com
Atribuições Tecnológicas da
Universidade Federal do Rio de
Janeiro**

NOVEMBRO DE 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE QUÍMICA

QUÍMICA COM ATRIBUIÇÕES TECNOLÓGICAS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Química com Atribuições Tecnológicas

Autora: Julia Rodrigues Dib Sêna (DRE: 105074097)

Orientador: Prof. Júlio Carlos Afonso

Título da Monografia: Tratamento de Efluentes em Indústria de Bebidas

BANCA EXAMINADORA:

.....
Cristiano Nunes da Silva, IQ/UFRJ

.....
Prof. Roberto Marchiori, DQI/IQ/UFRJ

AGRADECIMENTOS

Em memória dos meus pais Alfredo Sêna e Cláudia Dib, que sem eles não seria o que sou e não teria tudo que conquistei e que ainda ei de conquistar. Sou eternamente grata a eles por todo amor, carinho, compreensão, paciência e toda amizade que tiveram comigo em todos os momentos da minha vida. Agradeço por ter tido a sorte de tê-los como os melhores pais que alguém pode ter, mesmo que por pouco tempo presentes fisicamente.

A minha irmã Carolina que vem lutando comigo e estando ao meu lado em todos os momentos, fazendo de tudo para que eu nunca deixe de focar nos meus objetivos, sempre me dando muito amor.

A família Dib na qual eu tenho um grande orgulho de fazer parte, onde meus tios(as) são muito mais que isso, sendo verdadeiramente meus segundos pais e meus primos(as) não são apenas primos(as), mas sim meus irmãos. Com essa família maravilhosa, consegui me manter firme nos momentos difíceis, e muito feliz nos nossos momentos tão alegres.

A minha avó Lucy Dib por ser um grande exemplo de mãe e guerreira, agradeço também por todas as conversas e ensinamentos, que ela tem um jeito todo especial de fazer. A todos os almoços depois da escola e aos grandes momentos felizes que ela sabe fazer como ninguém.

Aos meus irmãos escolhidos Rosana e Franco, ter conhecido estes dois foi uma das melhores coisas que me aconteceu na universidade. Que além de todos os estudos, que por sinal momentos que sempre foram tão divertidos, compartilharam comigo grandes momentos felizes e engraçados, mas também sempre tiveram do meu lado nos momentos que precisei, sejam eles por coisas bobas ou mais sérias.

Aos meus amigos, Mariana, Monique, Paula, Vitor, Mauricio, Gustavo, Marcela e Daniel, que mesmo não fazendo parte do meu mundo universitário, me ajudaram a viver essa etapa com os nossos momentos de distração e com muita amizade isso foi fundamental para que eu levasse essa etapa da vida de uma maneira tão feliz, obrigada por sempre estarem ao meu lado.

Ao Rodrigo, que está me dando todo o suporte e compreensão, me incentivando sempre a continuar, não importando as barreiras, me fazendo enxergar eu sou capaz de enfrentar situações que eu mesmo não acreditava.

A minha chefe e amiga Patrícia Gama, que apostou no meu potencial como profissional antes mesmo do fim da graduação. Tenho a sorte de ter alguém como ela para me referenciar tanto na vida profissional como pessoal.

Aos grandes professores que tive, pois eles me mostraram que um grande profissional não se faz apenas com conhecimento técnico, tenho muito orgulho de tê-los como mestres. E em especial ao professores Júlio Afonso e Marta Medeiros, por todo cuidado, apoio, amizade e dedicação neste trabalho, acreditando em mim.

RESUMO

PROJETO DE CURSO

TÍTULO: TRATAMENTO DE EFLUENTES EM INDÚSTRIA DE BEBIDAS

ALUNO: Julia Rodrigues Dib Sêna

ORIENTADOR: Júlio Carlos Afonso, DQA – Instituto de Química da UFRJ

Este trabalho aborda a grande importância da preservação de um dos recursos naturais mais preciosos: a água. Passa-se em revista como se dá a poluição desse recurso, através do lançamento de efluentes sem tratamento ou sem o tratamento adequado nos corpos receptores. Dá-se destaque às legislações ambientais aplicáveis ao tema, mostrando que o lançamento de efluentes fora dos parâmetros de especificação sujeita os responsáveis a vários tipos de penalidades.

Dentro desse contexto, levando em consideração os avanços tecnológicos em termos de tecnologias de tratamento de efluentes industriais, o exemplo tomado como representativo desse tipo de efluente para este trabalho é o oriundo da indústria de fabricação de bebidas. Para essas indústrias a água é a principal matéria-prima, de grande consumo tanto na fabricação como em operações de limpeza, lavagem e assepsia. O uso racional desse recurso natural é de suma importância não apenas do aspecto ambiental, mas bem como para uma boa gestão econômica desse segmento industrial. O presente trabalho destaca o tratamento de efluentes mais utilizados nesse setor, o tratamento biológico misto.

Os requisitos fundamentais que devem ser monitorados para que esse tratamento seja eficaz são as características do efluente antes do tratamento (biodegradabilidade, pH, carga orgânica, sólidos etc), a qualidade do lodo (atividade metanogênica e granulometria) e para que os parâmetros avaliados, como temperatura, pH, eficiência de remoção de DBO, sólidos, óleos e cor fiquem dentro dos requisitos legais previstos na legislação brasileira.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 Poluição Hídrica..... | 11 |
| 1.2 Efluentes Industriais e os seus Tratamentos..... | 12 |
| 1.3 Legislações Ambientais..... | 14 |
| | |
| CAPÍTULO 2: PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DE UM EFLUENTE | 16 |
| 2.1 Definição..... | 16 |
| 2.2 Matéria Orgânica..... | 16 |
| 2.3 Sólidos..... | 16 |
| 2.4 Fósforo e Nitrogênio..... | 17 |
| 2.5 Óleos e Graxas..... | 17 |
| 2.6 Temperatura..... | 17 |
| 2.7 Cor..... | 18 |
| 2.8 pH..... | 18 |
| | |
| CAPÍTULO 3: TRATAMENTO DE EFLUENTES EM INDÚSTRIA DE BEBIDAS | 19 |
| 3.1 Tratamento Biológico Misto..... | 19 |
| 3.2 Etapas do Tratamento..... | 21 |
| 3.2.1 1ª Etapa: Recebimento do Efluente Bruto..... | 23 |
| 3.2.2 2ª Etapa: Pré-Tratamento..... | 24 |
| 3.2.3 3ª Etapa: Tratamento Anaeróbio..... | 25 |
| 3.2.4 4ª Etapa: Tratamento Aeróbio..... | 31 |
| | |
| CAPÍTULO 4: UM ESTUDO DE CASO DE OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE | 33 |
| 4.1 Teste de Toxicidade..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2 Teste de Atividade Metanogênica..... | 39 |
| 4.3 Teste de Biodegradabilidade..... | 41 |
| 4.4 Parâmetros durante o Tratamento e no Efluente Final..... | 42 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 46 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| TABELA 1 – Resultados dos Teste de Toxicidade..... | 38 |
| TABELA 2 – Resultados dos parâmetros para a Etapa Anaeróbia..... | 42 |
| TABELA 3 – Resultados dos parâmetros para a Etapa Aeróbia..... | 44 |
| TABELA 4 – Resultados combinados do tratamento biológico misto | 44 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 – Efluente lançado sem tratamento em um rio..... | 12 |
| FIGURA 2 – Estação de Tratamento Alegria da CEDAE..... | 14 |
| FIGURA 3 – Representação esquemática do reator anaeróbio..... | 20 |
| FIGURA 4 – Esquema simplificado das quatro etapas do tratamento | 21 |
| FIGURA 5 – Unidades de tratamento de efluentes industriais..... | 22 |
| FIGURA 6 – Rotas metabólicas..... | 27 |
| FIGURA 7 – Esquema básico para análise de atividade metanogênica, biodegradabilidade e toxicidade..... | 29 |
| FIGURA 8 – Resultado do branco da atividade em função do tempo..... | 35 |
| FIGURA 9 – Resultado de 5 ppm da atividade em função do tempo..... | 36 |
| FIGURA 10 – Resultado de 10 ppm da atividade em função do tempo..... | 36 |
| FIGURA 11 – Resultado de 20 ppm da atividade em função do tempo..... | 37 |
| FIGURA 12 – Resultado de 30 ppm da atividade em função do tempo..... | 38 |
| FIGURA 13 – Resultados dos testes de atividade em função do tempo..... | 40 |
| FIGURA 14 – Resultados dos testes de biodegradabilidade em função do tempo .. | 42 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1) Poluição Hídrica

A água é essencial para conservação da vida e do meio ambiente, entretanto é um recurso finito e extremamente vulnerável. Tendo isso em vista o controle da poluição da água é de suma importância para que a qualidade desta seja compatível com a sua utilização e sua preservação¹.

A poluição da água pode ser oriunda pelas diversas atividades do homem (antrópicas), como as atividades domésticas, comerciais e industriais. Estas diversas atividades geram poluentes característicos que tem uma determinada implicação na qualidade do corpo receptor².

Nas cidades isso se torna mais preocupante, pois concentram o maior número de pessoas e a maioria das indústrias. Por conta disso, há um elevado consumo de água e conseqüentemente uma infinidade de fontes poluidoras, tanto na forma de esgoto doméstico como de efluentes industriais³.

As águas usadas (servidas) se tornam fontes poluidoras, pois na maioria dos casos, após a utilização dessas águas, elas são descartadas sem nenhum tipo de tratamento. Além das águas descartadas sem tratamento, ainda tem o problema daquelas que passam por algum tipo de tratamento, entretanto este não acontece de maneira adequada⁴.

No Brasil menos de 5% do esgoto doméstico gerado tem a destinação adequada. O investimento em tratamentos não adequados para determinados tipos de emissões líquidas, além de não resolver o assunto, ainda consome mais recursos naturais, econômicos e humanos, sem trazer os benefícios esperados⁴.

Um outro ponto que contribui para o aumento da poluição hídrica é o avanço da tecnologia industrial. Sabemos que este avanço é muito importante em diversos aspectos, como, por exemplo, o crescimento da economia e a geração de empregos. Infelizmente, muitas dessas unidades industriais não possuem um tratamento adequado para os seus efluentes, e acabam lançando os mesmos (Figura 1) fora das especificações permitidas pelos órgãos ambientais⁵.



Figura 1: Efluente lançado sem tratamento em um rio⁶

1.2) Efluentes industriais e os seus tratamentos

A utilização da água é repartida da seguinte forma: 10% para o abastecimento público, 23% para indústria e 67% para a agricultura⁷. Na indústria a utilização de água pode ocorrer de diversas maneiras⁸. No processo industrial de fabricação de bebidas existe um elevado consumo desse recurso em função dos processos de limpeza de equipamentos, geração de vapor, pasteurização, bem como a água incorporada aos produtos. Exceto a água incorporada nos produtos e as perdas por evaporação, a água utilizada nas demais etapas possuem substâncias as mais diversas, surgindo dessa forma os chamados efluentes industriais⁸.

Além da utilização de água nos processos industriais, este recurso também é utilizado em refeitórios, vestiários e banheiros⁸. É responsabilidade das indústrias o tratamento dos efluentes gerados nesses locais, sendo este feito conjunta ou separadamente com o tratamento do efluente gerado nos processos industriais.

Para definir o tipo de tratamento é necessário saber a vazão do efluente e sua composição química, a fim de garantir o enquadramento de todos os parâmetros de acordo com a legislação ambiental que lhe é pertinente. As características físicas, químicas e biológicas mudam de acordo com a característica da atividade industrial, dessa forma os resíduos podem ser solúveis ou não na água, conter ou não sólidos em suspensão, apresentar ou não coloração, ter temperatura menor ou maior do que a água do corpo receptor⁹. As principais características que devem ser conhecidas para definir o tipo de tratamento são a temperatura, a cor, a turbidez, a presença de sólidos, o pH, a alcalinidade, o teor de matéria orgânica e os teores de metais.

De uma maneira geral os tratamentos podem ser físico-químicos ou biológicos. O tratamento físico-químico tem um custo muito elevado, mas é o mais indicado para indústrias que geram efluentes tóxicos, inorgânicos ou orgânicos não biodegradáveis. O tratamento biológico (Figura 2) é menos dispendioso, baseando-se na ação metabólica de microrganismos, especialmente bactérias, que tratam o material orgânico biodegradável⁹.

Em indústrias de grande porte é muito utilizado o uso combinado de diversos tipos de tratamento para que todos os parâmetros fiquem dentro das especificações dos órgãos ambientais. No processo industrial de fabricação de bebidas é muito comum a utilização de processos biológicos mistos, anaeróbios mais aeróbios, que aliam à boa confiabilidade e eficácia na obtenção de efluentes tratados, perfeitamente enquadrados nos parâmetros exigidos pela legislação ambiental, ao menor consumo de insumos (energia elétrica, químicos) e a menor geração de resíduos (lodos biológicos excedentes)¹⁰.



Figura 2: Estação de Tratamento Alegria da CEDAE, para despoluição da Baía de Guanabara. É a maior das estações de tratamento da CEDAE¹¹

1.3) Legislações Ambientais

Existem diversas leis que abordam as questões ambientais, sendo uma forma de disciplinar as relações entre os homens e o meio ambiente. Então qualquer alteração do meio ambiente podemos dizer que é um descumprimento da legislação.

Em 1981 surgiu a primeira lei específica sobre o meio ambiente, Lei nº 6.938 - Política Nacional de Meio Ambiente. De acordo com o Art. 2º desta lei, o objetivo é a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, visando assegurar as condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana¹².

No Art. 3º entende-se por poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos¹².

Com o uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, o CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente – aprovou a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357 de março de 2005. Ela dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão de lançamento de efluentes em corpos de água receptores¹³.

De acordo com o Art. 3º, desta Resolução, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis¹³.

O Art. 16º determina as condições e os padrões de lançamento de efluentes, com os valores limites para o lançamento de diversas substâncias para o corpo receptor. Entretanto mesmo estabelecendo esses parâmetros deixa a cargo do órgão ambiental local o dever de estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não nesta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas para o enquadramento do corpo receptor¹³.

No Estado do Rio de Janeiro o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), tem como base para definir os critérios e padrões para o lançamento de efluentes a Norma Técnica 202, aprovada pela Deliberação 1.007 do CECA (Conselho Estadual de Controle Ambiental) de 04 de dezembro de 1986. Esta norma complementa com alguns parâmetros que não estão da Resolução 430 e os critérios para o lançamento de carga orgânica expressa em Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), devem ser estabelecidos em diretrizes específicas (no momento do licenciamento)¹⁴.

O conjunto das leis, resoluções e normas definem os limites dos parâmetros para o despejo de efluentes industriais. Dessa forma a estação de tratamento de efluentes deve estar devidamente dimensionada e possuir o tratamento adequado para que todos os parâmetros sejam atendidos.

CAPÍTULO 2

PRINCIPAIS PARÂMETROS DO EFLUENTE

2.1) Definição

É importante destacarmos os principais parâmetros para entender como os efluentes podem impactar o meio ambiente caso estejam fora de especificação, como matéria orgânica, sólidos (totais, em suspensão, voláteis), nitrogênio, fósforo, óleos e graxas, temperatura, cor e pH.

2.2) Matéria Orgânica

A matéria orgânica é medida de forma indireta através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO)⁸. A determinação da DBO tem como objetivo determinar a quantidade de oxigênio requerida por efluentes, águas poluídas, águas naturais para estabilização da matéria orgânica. O teste tem sua maior aplicação na avaliação da carga orgânica biologicamente degradável que é aplicada aos sistemas de tratamento e a eficiência de remoção desses sistemas. Já a determinação da DQO tem como o objetivo determinar a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica.

Caso seja lançada uma carga de matéria orgânica superior aos limites estipulados, esta ao ser degradada, causa um decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido no meio hídrico, deteriorando a qualidade ou inviabilizando a vida aquática⁷. Para a DQO, a legislação não prevê limites fixados, estes são definidos pelo órgão ambiental vigente de acordo com o corpo receptor.

2.3) Sólidos

A presença de sólidos colabora para o assoreamento do corpo receptor, diminui a incidência de luz dificultando principalmente o processo de fotossíntese de

algas, facilitando os processos anaeróbios e de geração de gases e odores desagradáveis.

Durante o processo de tratamento de efluentes o conhecimento do teor de sólidos é importante para detectar, no efluente bruto, o material que compõe esse sólido e tomar as devidas medidas para evitar distúrbios no sistema, verificar a perda de lodo nos reatores anaeróbios e assegurar a qualidade do efluente final.

2.4) Fósforo e nitrogênio

O nitrogênio e o fósforo são elementos essenciais às diversas formas de vida, como crescimento dos organismos das águas superficiais; um exemplo são os microrganismos do plâncton, especialmente algas. Estes elementos podem ser o nutriente que limita o crescimento destas algas e neste caso, o lançamento de despejos tratados ou não, ou o carregamento de fertilizantes para as águas superficiais pode estimular o desenvolvimento excessivo de organismos, levando à chamada eutrofização do corpo receptor.

2.5) Óleos e graxas

Óleos e graxas quando despejados em corpos hídricos podem originar um filme na superfície e/ou se depositar nas margens levando a degradação visual do ambiente e à redução da incidência de luz.

2.6) Temperatura

A temperatura é um fator importante no controle da qualidade da água e dos efluentes, devido à sua relação com a solubilidade dos gases, bem como a velocidade de eventuais reações químicas entre os componentes da mesma. Tipicamente, um corpo receptor mais quente reduz a quantidade de oxigênio

dissolvido, levado à redução ou mesmo a eliminação das formas aquáticas de vida naquele corpo receptor.

2.7) Cor

A determinação da cor é, antes de tudo, referente à caracterização estética do corpo receptor, sem necessariamente possuir significado sanitário. Uma água isenta de cor, apesar de apresentar um aspecto mais agradável do que uma água colorida, pode também não estar dentro dos padrões ambientais.

2.8) pH

O pH da água, no efluente e nos processos intermediários de tratamento de água, é a medida que possibilita a identificação das características ácidas ou alcalinas conferidas à mesma em maior ou menor intensidade pelo efluente. Estas características são impostas pela presença de determinadas substâncias em solução, como ácidos, bases, sais ácidos e básicos, ou ainda pela presença de gases dissolvidos.

Os valores de pH fora dos limites impostos pelas legislações podem tornar o meio inviável para a vida aquática no corpo receptor.

CAPÍTULO 3

TRATAMENTO DE EFLUENTES EM INDÚSTRIAS DE BEBIDAS

3.1) Tratamento Biológico Misto

Mais de 95% das fábricas de cervejas instaladas no Brasil adotam o processo misto anaeróbio + aeróbio como solução para o tratamento de seus efluentes.

Na etapa anaeróbia conseguem-se remoções de 85% na carga orgânica (DBO), com baixíssimos consumos de energia elétrica (inclusive com a geração de gás metano combustível que pode ser usado na fábrica para geração de vapor ou mesmo energia elétrica), ficando o pós-tratamento aeróbio responsável por uma pequena parcela de remoção de DBO para atingir as exigências ambientais.

Quanto às tecnologias adotadas para os equipamentos utilizados nas estações de tratamento de efluentes mistas, prevalecem os reatores anaeróbios de fluxo ascendente com leito de lodo (UASB – Figura 3). Na etapa aeróbia utiliza-se o processo de lodos ativados, onde há aeração prolongada com variações nos sistemas de aeração, alternado-se o uso de aeradores superficiais com sistemas de ar difuso (distribuição do ar com difusores de membranas dispostos no fundo do tanque).

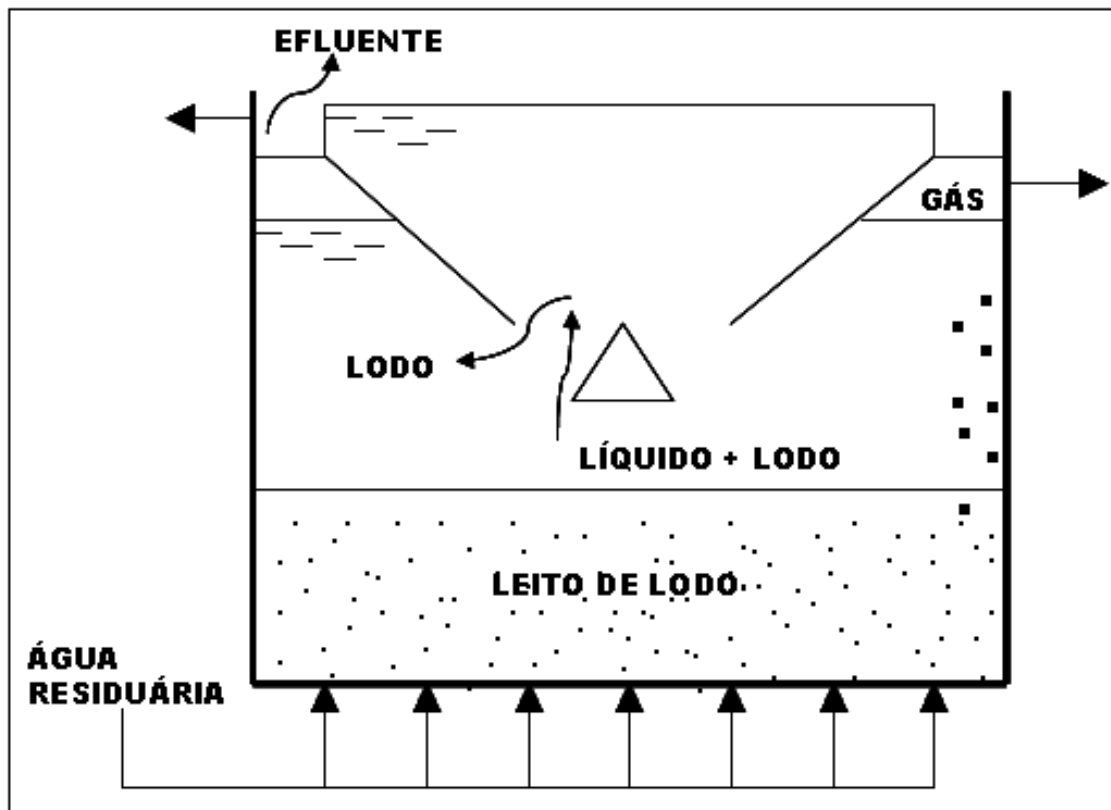


Figura 3: Representação esquemática do reator anaeróbio de fluxo ascendente com leito de lodo (UASB)

3.2) Etapas do Tratamento

O tratamento do efluente industrial pode ser dividido em 4 grandes etapas, esquematizadas na Figura 4 (etapas) e 5 (unidades de tratamento).

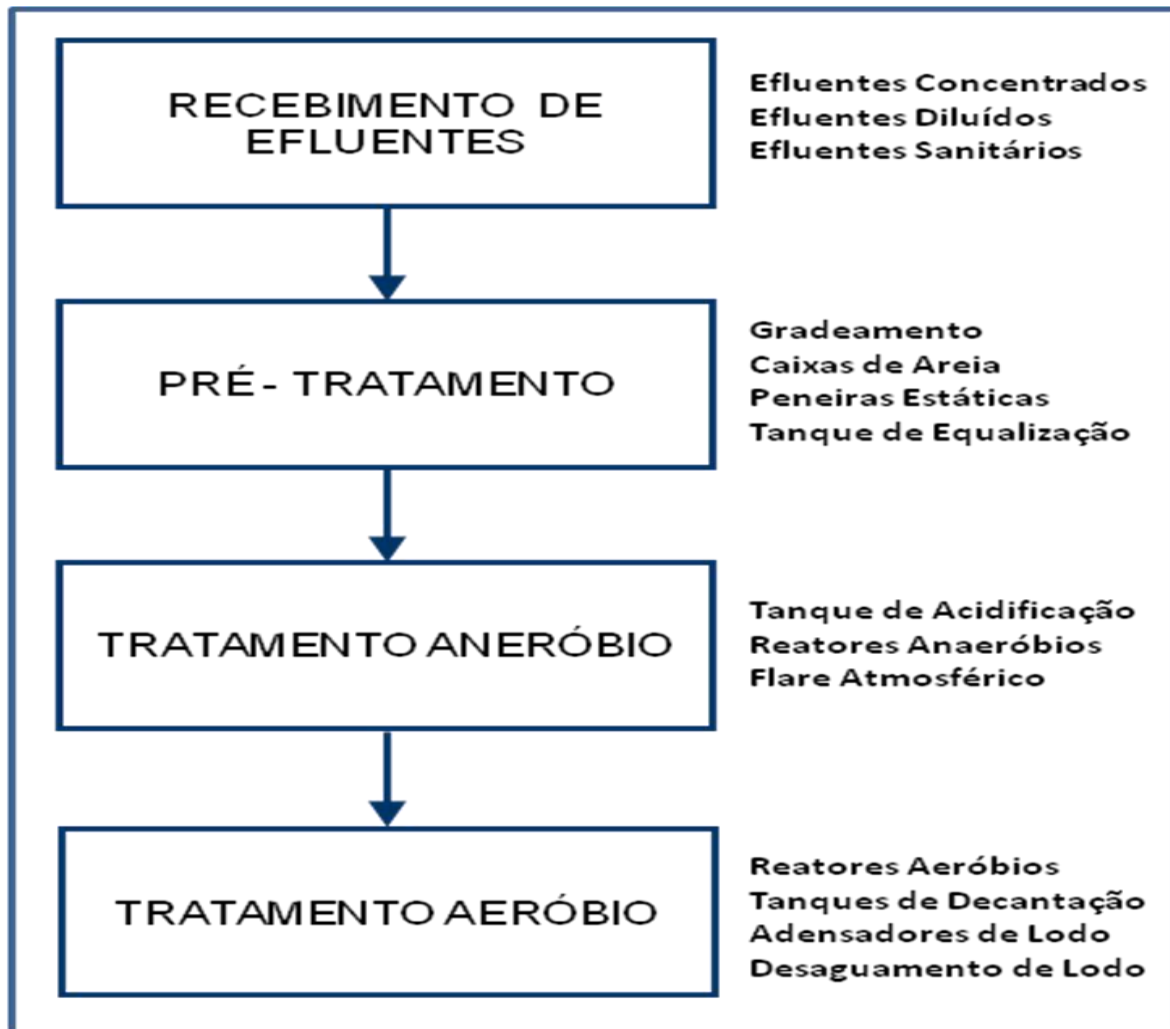


Figura 4: Esquema simplificado das quatro etapas do tratamento de efluentes industriais

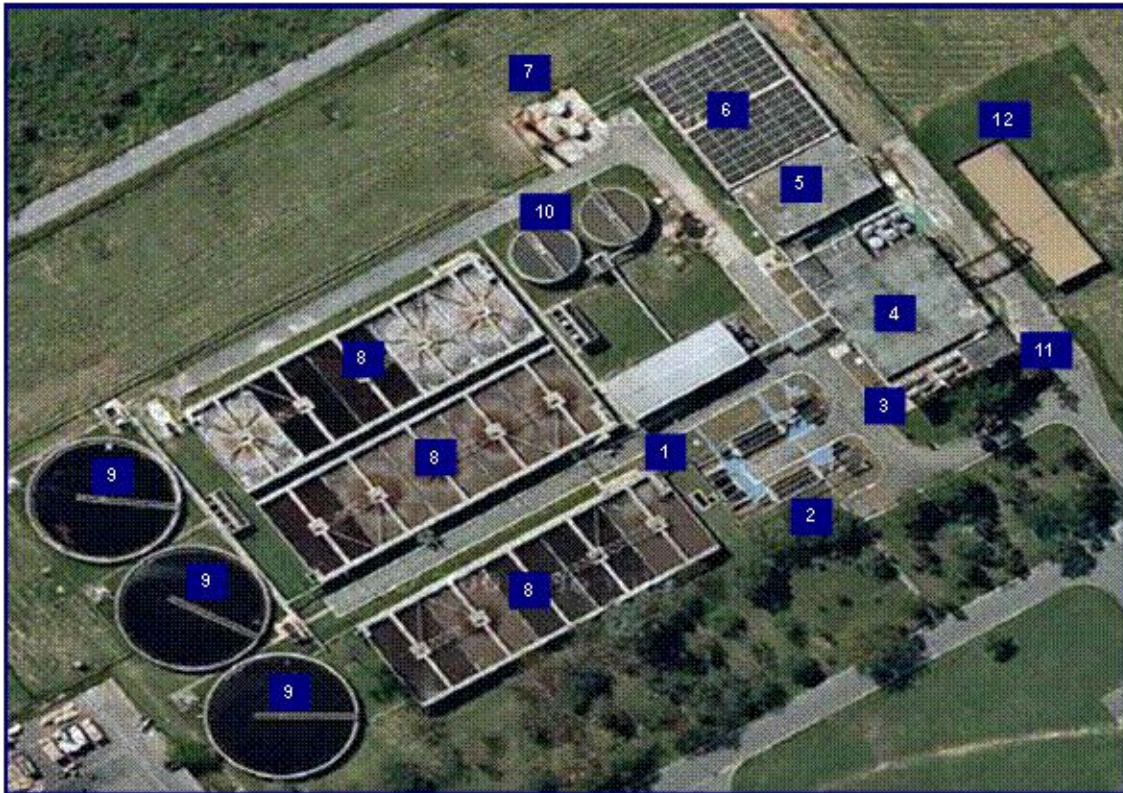


Figura 5: Unidades de tratamento de efluentes industriais de indústria de bebidas¹⁵.

O significado dos números 1 a 11 vem a seguir:

Primeira Etapa: Recebimento do Efluente

1. Caixas de recebimento do efluente bruto e diluído

Segunda Etapa: Pré-Tratamento

2. Gradeamento e Caixas de Areia
3. Peneiras estáticas
4. Tanque de Equalização

Terceira Etapa: Tratamento Anaeróbio

5. Tanque de Acidificação
6. Reatores Anaeróbios
7. Flare Atmosférico

Quarta Etapa: Tratamento Aeróbio

8. Reatores Aeróbios
9. Decantadores

10. Adensadores

11. Centrífugas

Em casos nos quais o efluente bruto se encontra fora de especificação é utilizado o tanque de emergência (12).

3.2.1) 1ª Etapa: Recebimento do Efluente Bruto

Nesta etapa é recebido todo o efluente oriundo do processo produtivo, dos refeitórios, vestiários e banheiros sanitários. O sistema de tratamento por processo biológico é muito eficaz, mas é muito sensível às variações do meio, por isso nesta etapa é muito importante a avaliação da qualidade do efluente bruto, para que não comprometa o tratamento nas próximas etapas. Nessa etapa são feitas as análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Sedimentáveis Totais, Nitrogênio total, Fósforo total, Óleos e Graxas e pH.

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO) é feita nessa etapa para identificar possíveis sobrecargas de carga orgânica no sistema. Essas sobrecargas podem acontecer por anomalias durante o processo de fabricação de bebidas como vazamentos de mosto, cerveja, fermento, açúcar, xarope, refrigerantes etc¹⁵. A identificação dessas anomalias nesta etapa é fundamental para que se possa agir para não sobrecarregar o sistema, bem como para identificar perdas e ineficiências de processo.

O índice de carga orgânica do efluente bruto é de no máximo 0,75 Kg de DQO para cada hectolitro de cerveja e refrigerante produzido (0,75Kg DQO/hl)¹⁶.

A análise de sólidos sedimentáveis totais, nitrogênio total, fósforo total e óleos e graxas, e pH é feito nessa etapa para identificar excesso de descarte de sólidos, compostos de nitrogênio e fósforo, óleos e graxas e produtos químicos¹⁶. Esses excessos podem ocorrer, pois durante o processo de fabricação de bebidas são gerados como resíduos sólidos: bagaço de malte, terra diatomácea, fermento e carvão ativado. Todos esses resíduos vão para silos e cada um deles tem uma destinação diferente; por exemplo, o bagaço de malte é destinado para ração animal.

Entretanto caso algum acidente aconteça, durante essa transferência ou durante o processo esses resíduos podem ir para a estação de tratamento de efluentes.

A concentração máxima de sólidos sedimentáveis totais no efluente bruto é de 700 mg/L, a de nitrogênio total é de 30 mg/L, a de fósforo total é de 20 mg/L e a de óleos e graxas é de 30 mg/L¹⁶.

São utilizados diversos produtos químicos durante o processo de fabricação de bebidas, para garantir todo o controle de qualidade do produto. Esses produtos químicos são utilizados para fazer a limpeza dos tanques, tubulações, equipamentos etc. Entretanto da mesma forma que estes têm o papel de fazer assepsia, eles podem ser extremamente tóxicos para o tratamento biológico e comprometendo assim o tratamento de efluentes. Nesse caso, em toda fábrica de bebidas, existem tanques para onde todo o descarte de produtos químicos deve ser direcionado. Esses tanques possuem placas de orifício dimensionadas que determinam a vazão com que estes produtos vão para a estação sem que comprometam o tratamento. Esta vazão é determinada pelo limite de toxicidade do produto químico nos microrganismos que fazem o tratamento. Todo produto químico antes de ser utilizado passa por essa análise.

Uma alternativa muito utilizada e bastante eficiente nestes tipos de situações é transferir, no momento da identificação da anomalia, o efluente bruto para um tanque chamado tanque de emergência. Desse tanque o efluente volta para o tratamento numa vazão muito menor, pois vai sendo diluído pelo efluente que não apresenta tal anomalia.

3.2.2) 2ª Etapa: Pré-Tratamento

Nesta etapa é feita a separação dos sólidos mais grosseiros, através de um gradeamento. Este gradeamento é importante principalmente para a proteção das bombas e tubulações das próximas etapas do tratamento¹⁷. Depois de passar pelo primeiro gradeamento, o efluente vai para as caixas de areia, em seguida para as peneiras estáticas, e por fim para o tanque de equalização.

No tanque de equalização é que ocorre a completa homogeneização do efluente e equalização das vazões. A análise mais importante a ser feita nesta etapa é do potencial redox, esta é feita através de um eletrodo, como solução de KCl, mede-se a diferença de potencial entre o meio em análise e o eletrodo reportando o resultado como potencial redox (mV).

A medição do potencial redox indica o potencial de redução ou de oxidação do efluente após sua homogeneização. Assim, valores positivos indicam que o meio é oxidante, ou seja, ele é capaz de oxidar outras substâncias que tenham potencial menor, sofrendo ela própria uma redução, de acordo com o princípio de equilíbrio químico de oxirredução. Da mesma forma, um valor de potencial negativo indica que a solução vai reduzir outra, sofrendo oxidação.

As bactérias metanogênicas presentes no reator anaeróbio necessitam trabalhar em um meio redutor de cerca de -300 mV. É necessário assegurar esta condição para que o sistema não fique comprometido, perdendo-se eficiência no tratamento e, em condições extremas, ocorrendo a perda de lodo anaeróbio.

Conhecendo-se o potencial redox de substâncias normalmente utilizadas na fábrica e obtendo-se os valores de potencial redox no efluente, pode-se, no mínimo, constatar o recebimento de substâncias oxidantes, caso o potencial seja positivo. Então com essa medição pode-se evitar excesso de descarte de produtos químicos oxidantes da fábrica para estação de tratamento.

O potencial redox do efluente equalizado deve ser no máximo 0 mV¹⁶.

3.2.3) 3ª Etapa: Tratamento Anaeróbio

Após sair do tanque de equalização o efluente vai para o tanque de acidificação, deste vai para os reatores anaeróbios e o metano gerado nestes reatores pode ser queimado no *flare* (queimador) ou ser utilizado como fonte de energia.

No tanque de acidificação acontece a correção do pH e adição de nutrientes, como uréia e ácido fosfórico. Neste momento do processo acontecem as primeiras etapas da digestão anaeróbia, a hidrólise e a acidificação.

As bactérias fermentativas hidrolíticas e acidogênicas (grande e diverso grupo de bactérias, como por, exemplo, das espécies *Clostridium* e *Bacteroids*) são responsáveis pela hidrólise e pela acidogênese. Na hidrólise os compostos orgânicos complexos (lipídios, carboidratos e proteínas) se transformam em compostos orgânicos simples (açúcares, aminoácidos e peptídeos). Estes compostos orgânicos simples são transformados em H_2 , CO_2 e acetato. No processo de acidogênese os compostos orgânicos simples são transformados em ácidos graxos de cadeia longa (propionato, butirato etc).

Nos reatores anaeróbios ocorrem as últimas etapas da digestão anaeróbia como a acetogênese, homoacetogênese e metanogênese.

As bactérias acetogênicas produtoras de H_2 são responsáveis pela acetogênese, ou seja, os ácidos graxos de cadeia longa, gerados na acidogênese são transformados em H_2 , CO_2 e acetato. As bactérias homoacetogênicas são responsáveis pela homoacetogênese, que forma acetato a partir de H_2 e CO_2 ¹⁶.

A finalização do processo da digestão anaeróbia é feita pelas bactérias arqueas metanogênicas hidrogenotróficas e metanogênicas acetoclásticas. As arqueas metanogênicas hidrogenotróficas reduzem o CO_2 produzindo metano (CH_4). E as arqueas metanogênicas acetoclásticas produzem metano e CO_2 a partir da redução do acetato¹⁶.

A Figura 6 apresenta um esquema contendo as rotas metabólicas e os grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

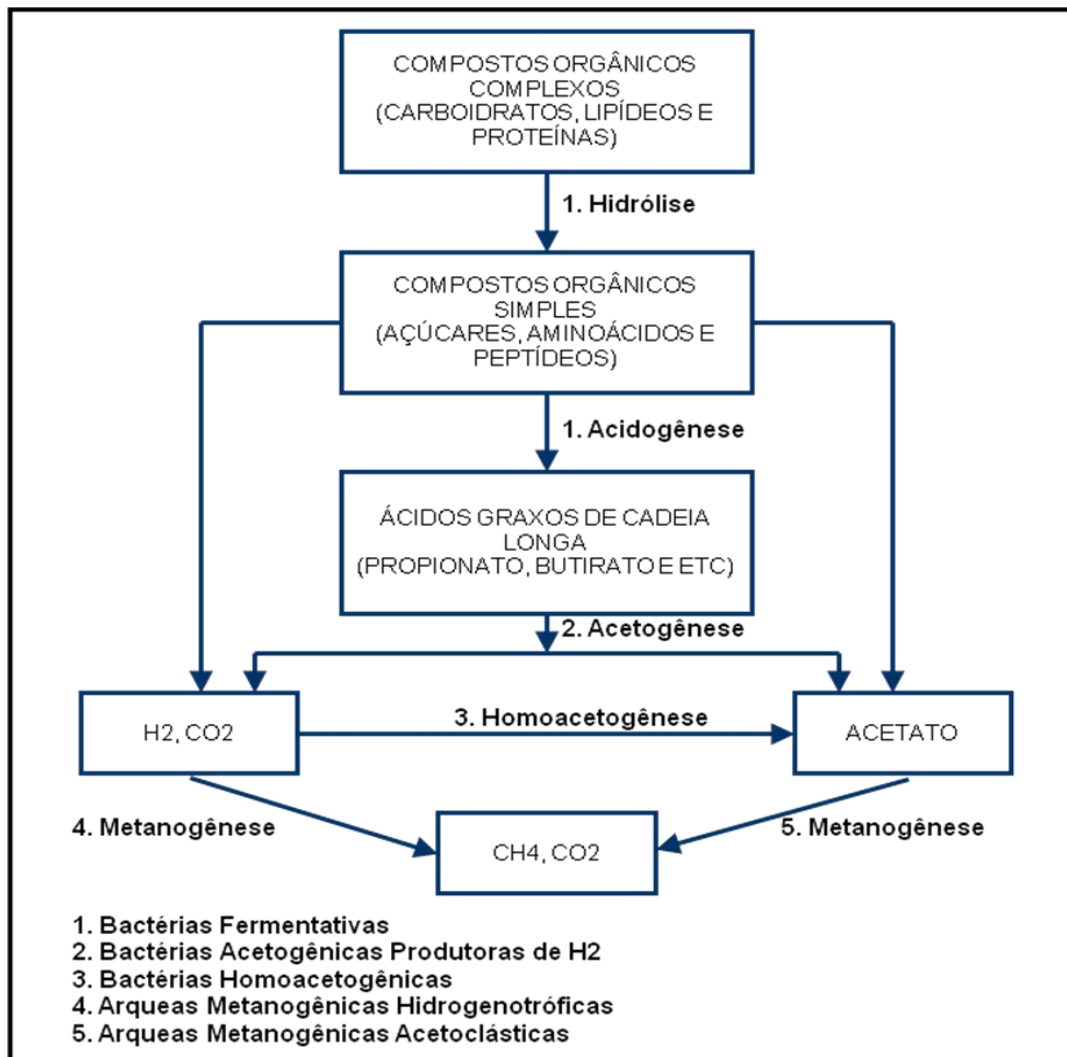


Figura 6: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

Nessa etapa do processo algumas características no sistema devem ser garantidas para que o tratamento ocorra de maneira adequada, e assim como resultado final do tratamento o efluente se encontre enquadrado. Dentre essas características podemos destacar biodegradabilidade do efluente equalizado, parâmetros que são indicadores de estabilidade do processo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbio e qualidade do lodo anaeróbio.

A biodegradabilidade do efluente equalizado deve ser no mínimo 75%¹⁶, ou seja 75% do efluente que chega para o tratamento anaeróbio tem que ser biodegradável, caso haja um percentual mais baixo que esse todo o tratamento pode ficar comprometido, pois os 25% restantes é que não é tratado por estas bactérias

nesse processo, quanto maior for esse valor, mais estamos dizendo que o efluente não será tratado nessa etapa.

Os principais parâmetros que são indicadores de estabilidade do processo são¹⁶:

- Temperatura no leito de lodo: máximo de 39°C;
- pH do leito de lodo: 6,5-7,5;
- Acidez volátil do leito de lodo: máximo de 200 mg ácido acético/L
- Alcalinidade bicarbonato no leito de lodo: mínimo de 400 mg CaCO₃/L
- Sólidos sedimentáveis na saída do reator: máximo de 5 cm³/L.h
- Eficiência de remoção de DQO: mínimo de 75%
- Vazão de biogás: máximo de 80% da vazão de gás crítica
- Geração de biogás: mínimo de 0,3 m³ gás/kg DQO_{REMOVIDA}

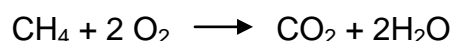
Os principais indicadores da disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbio são nitrogênio amoniacal, de no mínimo 5 mg N/L e ortofosfato filtrável, de no mínimo de 5 mg P/L no efluente de saída do reator anaeróbio¹⁶.

Os principais parâmetros da qualidade do lodo anaeróbio são¹⁶:

- Relação de sólidos voláteis/sólidos totais (SV/ST): mínimo de 70%
- Atividade específica metanogênica: mínimo de 0,3 kg DQO/kg ST
- Versatilidade: mínimo de 85%
- Granulometria: mínimo de 70% na forma granular

As análises de biodegradabilidade e atividade metanogênica são feitas em um mesmo procedimento experimental, e merecem destaque devido a que seus resultados são essenciais para a preservação do lodo anaeróbio.

CONVERSÃO TEÓRICA DA DQO EM METANO



$$1 \text{ mol de CH}_4 = 2 \text{ mols de O}_2$$

22,4 L CH₄ = 64 g de oxigênio = 64 g de DQO (CNTP - 0°C e 1 atm)

CNTP: 1 g de DQO removida → 0,35 L de CH₄

20°C, 1 atm: 1 g de DQO removida → 0,38 L de CH₄

A Figura 7 mostra a aparelhagem para o teste de atividade e biodegradabilidade.

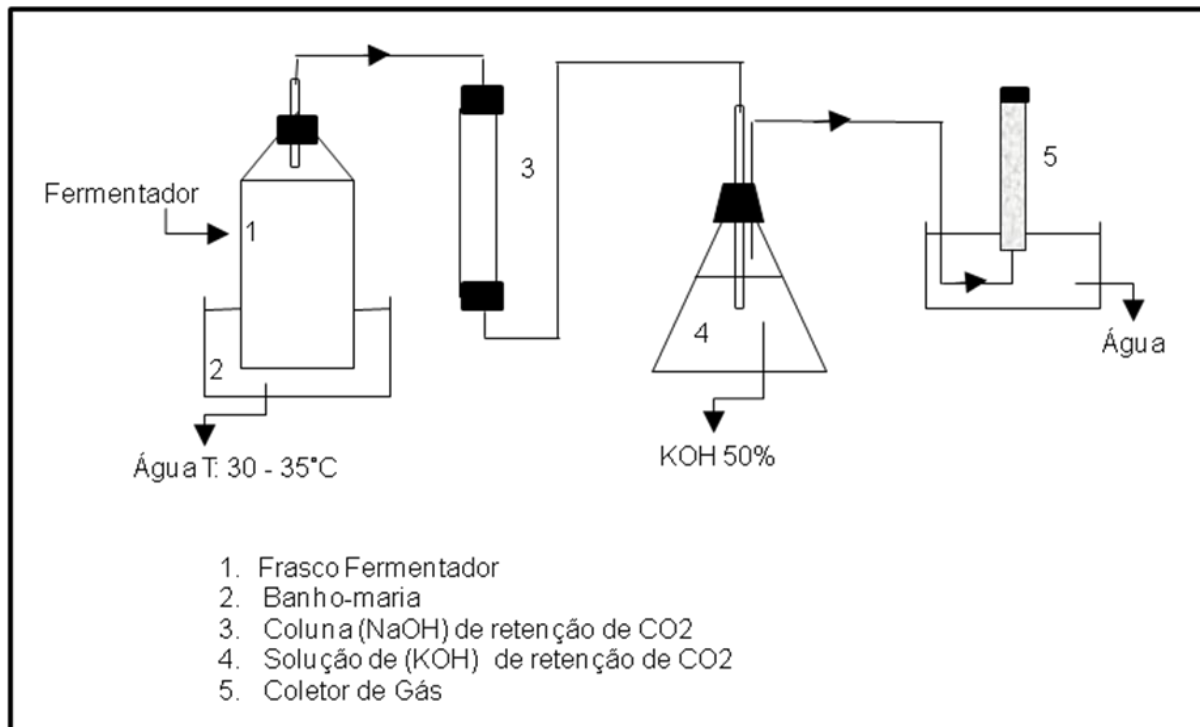


Figura 7: Esquema básico para análise de atividade metanogênica, biodegradabilidade e toxicidade.

Teste de Atividade: Coleta-se o lodo anaeróbio a ser analisado; homogênea-se a amostra de lodo para fazer a análise de sólidos totais (ST); quantifica-se o volume útil do frasco fermentador (V); introduz-se 7 g de ST para cada litro de volume útil do fermentador, então o volume de lodo (VL) incorporado ao fermentador é massa ST(g)/conc. ST (g/L); a quantidade de água a ser adicionada será o volume útil menos o volume de lodo utilizada (VL) sendo que deverá ser utilizado 50% de água destilada e 50% de água da torneira; Coloca-se o frasco fermentador de sacarose (4,0 g/L), bicarbonato de sódio (5,0 g/L), hidrogenofosfato de potássio (3,0 g/L), diidrogenofosfato de potássio (2,0 g/L) e cloreto de amônio (0,5 g/L); Introduz-se o lodo anaeróbio no fermentador; lava-se a proveta com o restante de água que será utilizada, arrastando todo o lodo para o fermentador; fecha-se bem o frasco fermentador; coloca-se o fermentador no banho com a temperatura previamente ajustada; acompanha-se a produção acumulada de gás metano ao longo do tempo até que o volume de gás acumulado fique constante (duração prevista é de 4 a 5 dias).

Neste procedimento, deve-se atentar para as observações abaixo:

1. Na solução de KOH 50% adicionam-se 5 gotas de fenolftaleína, caso ao longo do teste a solução fique rósea, é necessária a troca da solução de KOH.
2. À medida que ocorre o acúmulo de gás na proveta (coletor de gás = proveta com água), a água vai sendo expulsa da proveta acumulando-se na bacia plástica. O excesso de água deve ser removido para que a pressão de gás no sistema não se torne muito alta.

Teste de Biodegradabilidade: Coleta-se o efluente contido no tanque de equalização; separam-se aproximadamente 100 mL de efluente para determinação de DQO total; Coleta-se o lodo anaeróbio a ser analisado; homogeneíza-se a amostra de lodo para fazer a análise de sólidos totais (ST); quantifica-se o volume útil do frasco fermentador (V); calcula-se o volume de lodo anaeróbio (VL) necessário a partir da carga orgânica (CO) introduzida no teste, da atividade específica metanogênica (A) do lodo e da concentração de sólidos totais determinada anteriormente ($CO = \text{volume útil do fermentador (L)} \times \text{DQO total}$; massa de Lodo: CO/A ; Volume de Lodo = $\text{Massa de lodo} / \text{Conc. de ST} \times 1000$); o volume de efluente necessário ao teste quando a DQO total é menor ou igual 4.480 mg/L, o volume de efluente será o volume útil do fermentador menos o volume de lodo, quando a DQO total é maior que 4.480 mg/L ,considerar a introdução de 4,48 g de DQO/L de fermentador e utilizar água para completar o volume do fermentador; o volume de água adicionado é o volume útil do frasco fermentador, menos o volume de efluente e menos o volume de lodo (caso não seja adicionada água no teste (DQO total do efluente é menor ou igual a 4.480 mg/L), separar parte do efluente do despejo para arrastar todos os reagentes e o lodo para o fermentador); coloca-se no frasco fermentador bicarbonato de sódio (5,0 g/L), hidrogenofosfato de potássio (3,0 g/L), diidrogenofosfato de potássio (2,0 g/L) e cloreto de amônio (0,5 g/L); introduz-se o lodo anaeróbio no fermentador; lava-se a proveta com restante de água que será utilizada, arrastando todo o lodo para o fermentador; fecha-se bem o frasco fermentador; coloca-se o fermentador na banho com a temperatura previamente ajustada; acompanha-se a produção acumulada de gás metano ao longo do tempo até que o volume de gás acumulado fique constante (duração prevista é de 4 a 5 dias).

As observações que se referem ao teste de atividade se aplicam também a este teste.

Teste de Toxicidade: A toxicidade de determinada substância sobre o lodo anaeróbio é determinada através da execução de um branco e, em paralelo outros testes similares onde são adicionadas diferentes concentrações do produto químico em estudo. Após calcular o volume de amostra, de acordo com as concentrações desejadas, prepare-se um frasco fermentador, conforme descrito no teste de atividade, este será usado como o branco. Em seguida preparar os frascos fermentadores, também conforme descrito no teste de atividade, entretanto adicione em cada um desses o volume de produto químico, de acordo com a concentração desejada para o estudo.

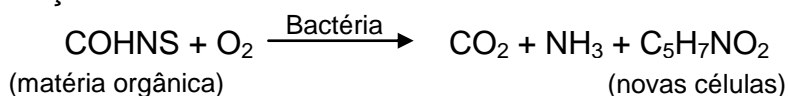
3.2.4) 4^o Etapa: Tratamento Aeróbio

Após passar pelo tratamento anaeróbio o efluente vai para os reatores aeróbios, e deste vai para os tanques de decantação. Fazem parte desta etapa também os adensadores de lodo e o desaguamento de lodo.

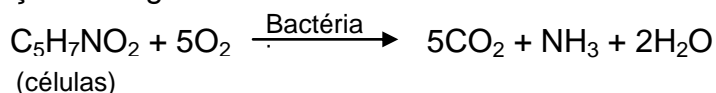
Os reatores aeróbios são compostos por tanques com aeradores superficiais, que garantem uma concentração de oxigênio dissolvido na faixa de 1,0 – 3,0 mg/L.

A remoção da matéria orgânica por reações bioquímicas, feita por microrganismos aeróbios. Esta acontece por uma oxidação microbiana acompanhada de síntese celular¹⁶.

Oxidação e síntese:



Respiração endógena:



Pelas reações apresentadas acima pode-se ver que as bactérias aeróbias utilizam a matéria orgânica contida no efluente como alimento, convertendo esta em CO₂, água e novas células (crescimento e reprodução dos microrganismos)¹⁷.

No processo aeróbio as características do sistema que devem ser monitoradas em especial são o pH e oxigênio dissolvido estes são determinados por um medidor de pH e um oxímetro, respectivamente. O pH recomendado está na faixa 7,0–8,5; em pH 9,0, a eficiência diminui de forma acentuada. Em pH 10,0, o sistema entra em colapso, e em pH abaixo de 5,0 ocorre a evolução de fungos. Em temperatura superior a 45^oC ocorre a desnaturação de proteínas. A relação alimento (carga orgânica) por microrganismo deve estar na faixa 0,05-0,15 kg de DBO/kg SSV.dia¹⁶.

No final do processo o lodo necessita de um tratamento chamado de condicionamento. Desta forma estes vão para os chamados adensadores e então a quantidade de água presente nestes é removida, aumentando assim o teor de sólidos do lodo. Desta etapa este vai para o processo de desaguamento, no qual é feito por centrifugação, garantido desta forma a umidade do lodo.

Nos tanques de decantação ocorre a separação dos sólidos em suspensão presentes nos reatores aeróbios e dessa forma o efluente sai clarificado. Por esse processo de decantação ocorre a sedimentação dos sólidos em suspensão e com isso o lodo em contenção mais elevada, retorna para os reatores aeróbios.

CAPÍTULO 4

UM ESTUDO DE CASO DE OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

Ao longo de um período de dois meses, fez-se um estudo de caso de otimização de um processo de tratamento biológico misto aplicado a um efluente de uma indústria de bebidas, onde as três etapas foram consideradas. Os testes de atividade e biodegradabilidade são monitoradas mensalmente, entretanto em um período de três meses estes testes apresentaram-se fora da especificação, acarretando em quase desenquadramento do efluente.

No primeiro mês que estes dois parâmetros saíram de especificação, iniciou-se um estudo dos processos que estavam sendo utilizados na fábrica para detectar o que podia ter acarretado nessa mudança de característica do efluente. Foi identificado que em algumas limpezas de equipamentos não estavam mais sendo feitas com um produto químico comercial (que chamaremos aqui de X), mas sim por um novo produto químico (denominado Y); estes dois produtos são ácidos fortes. Então fez-se um estudo da toxicidade do produto Y, uma vez que a toxicidade do produto X já era conhecida, de limite de 50 ppm (mg/L), ou seja o produto químico X até 50 ppm no efluente não gera impacto no lodo anaeróbio.

Dada a escassez de estudos na literatura científica e técnica, e como a composição dos efluentes varia de uma indústria a outra mesmo no mesmo ramo de atividade, só se consegue obter um resultado confiável e aplicável à realidade em questão através de um estudo *in loco* com o próprio efluente e com a estação em operação. Os testes descritos a seguir foram feitos segundo a descrição no item 3.2.3, e todos eles diretamente ou sob a supervisão da autora desta monografia.

4.1) Estudo da Toxicidade do Produto Y

- **Características médias do Lodo**

Concentração de Sólidos Totais (ST): **36,0 g/L***

- **Composição dos Testes**

Volume útil do fermentador: **1,8 L**

| COMPONENTES | Conc. (g/L) | m _{total} (g) |
|--|-------------|------------------------|
| Sacarose, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ | 4,0 | 4,0 x 1,8 = 7,2 |
| Hidrogenocarbonato de sódio, NaHCO ₃ | 5,0 | 5,0 x 1,8 = 9,0 |
| Hidrogenofosfato de potássio, K ₂ HPO ₄ | 3,0 | 3,0 x 1,8 = 5,4 |
| Diidrogenofosfato de potássio, KH ₂ PO ₄ | 2,0 | 2,0 x 1,8 = 3,6 |
| Cloreto de amônio, NH ₄ Cl | 0,5 | 0,5 x 1,8 = 0,9 |

Volume de lodo anaeróbio: **350 mL**

Massa de lodo: 7,0(g/L) x 1,8(L) = 12,6 (g)

$$VL = \frac{12,6(g)}{36,0 (g/L)} \times 1000 = 350 \text{ mL}$$

Volume de água destilada: (1800 – 342)/2 = **725 mL** (item 3.2.3)

Volume de água da torneira: (1800 – 342)/2 = **725 mL** (item 3.2.3)

- **Determinação do volume do Produto Y**

Densidade: 1,39 g/cm³

Concentração de 5 ppm: (5 x 1,8)/(1,39*1000)= 0,0065 mL

Concentração de 10 ppm: (10 x 1,8)/(1,39*1000)= 0,013 mL

Concentração de 20 ppm: (25 x 1,8)/(1,39*1000)= 0,026 mL

Concentração de 30 ppm: (30 x 1,8)/(1,39*1000)= 0,039 mL

a) Branco

- Cálculo da máxima taxa de produção de gás, em litro/hora, através da variação (Δ) do volume de gás metano acumulado / variação (Δ) de tempo

$$\text{Máxima taxa de produção de gás} = \frac{(1050 \text{ mL} - 420 \text{ mL})}{(11 \text{ h} - 6 \text{ h})} = 126 \text{ mL/h}$$

* Valor médio nesse tipo de situação (tamanho de reator, volume e características do efluente)

- Atividade específica metanogênica (A), em kg de DQO/kg ST.d

$$A = \frac{0,126 \text{ (L/h)} \times 24 \text{ (h/dia)} \times (0,001/0,38) \text{ (kg DQO/L de CH}_4\text{)}}{(12,6/1000) \text{ g de lodo (kg ST)}} = \mathbf{0,62}$$

Os resultados para a atividade metanogênica estão na Figura 8.

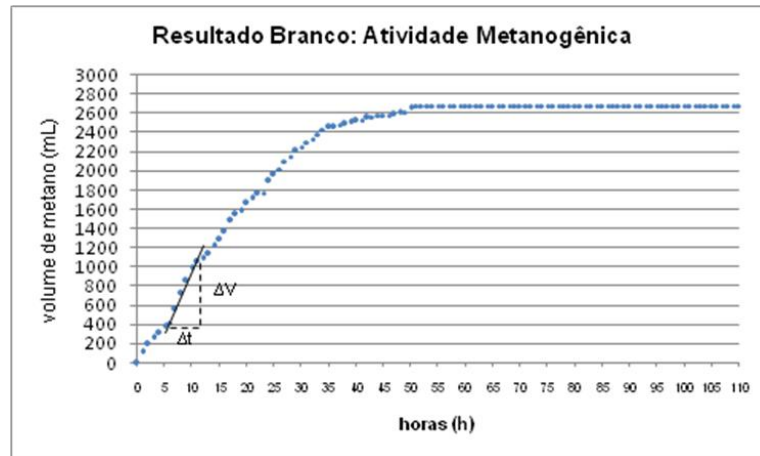


Figura 8: Resultado do branco da atividade metanogênica em função do tempo

Cálculo da Versatilidade

- Produção Total de metano: **2680 mL**

- Produção teórica de metano: **3064 mL**

$$1,0 \text{ g de sacarose} = 1,12 \text{ g de DQO}$$

$$1,12 \times 4,00 = 4,48 \text{ g/L de DQO}$$

$$4,48 \text{ g/L DQO} \times 1,8 \text{ L} \times 0,38 \text{ L de CH}_4 = 3,064 \text{ L CH}_4$$

- Versatilidade (%) = $(2680/3064) \times 100 = \mathbf{87\%}$

b) Concentração de 5 ppm

- Cálculo da máxima taxa de produção de gás, em L/h, através da variação (Δ) do volume de gás metano acumulado / variação (Δ) de tempo

$$\text{Máxima taxa de produção de gás} = \frac{(1010 \text{ mL} - 250 \text{ mL})}{(11 \text{ h} - 4 \text{ h})} = 109 \text{ mL/h}$$

- Atividade específica metanogênica (A), em kg de DQO/kg ST.d = **0,54**

Os resultados para a atividade metanogênica estão na Figura 9.

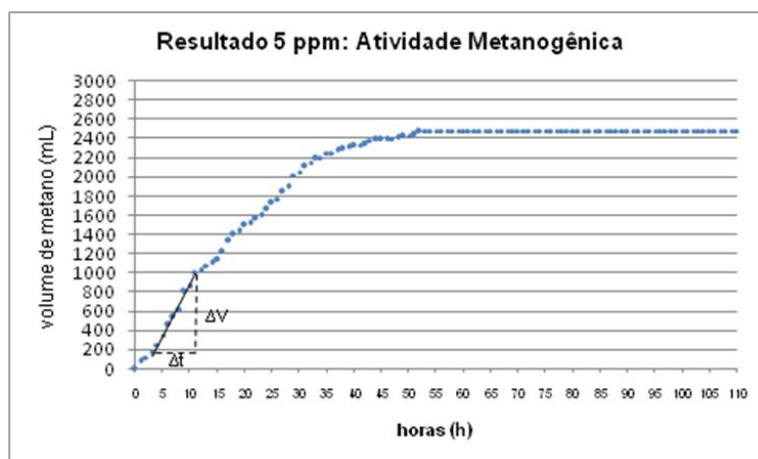


Figura 9: Resultado de 5 ppm da atividade metanogênica em função do tempo

Cálculo da Versatilidade

- Produção Total de metano: **2480 mL**
- Produção teórica de metano: **3064 mL**
- Versatilidade (%) = $(2480/3064) \times 100 = 81\%$

c) Concentração de 10 ppm

- Cálculo da máxima taxa de produção de gás, em litro/hora, através da variação (Δ) do volume de gás metano acumulado/variação (Δ) de tempo

$$\text{Máxima taxa de produção de gás} = \frac{(1210 \text{ mL} - 390 \text{ mL})}{(12 \text{ h} - 4 \text{ h})} = 103 \text{ mL/h}$$

- Atividade específica metanogênica (A), em kg de DQO/kg ST.d = **0,51**

Os resultados para a atividade metanogênica estão na Figura 10.

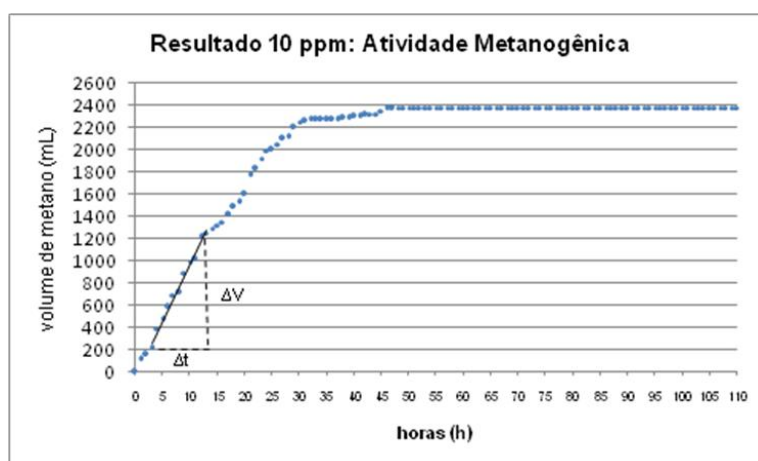


Figura 10: Resultado de 10 ppm da atividade metanogênica em função do tempo

Cálculo da Versatilidade

- Produção Total de metano: **2380 mL**
- Produção teórica de metano: **3064 mL**
- Versatilidade (%) = $(2380/3064) \times 100 = 78\%$

d) Concentração de 20 ppm

- Cálculo da máxima taxa de produção de gás, em L/h, através da variação (Δ) do volume de gás metano acumulado / variação (Δ) de tempo

$$\text{Máxima taxa de produção de gás} = \frac{(690 \text{ mL} - 390 \text{ mL})}{(10\text{h} - 5\text{h})} = 92 \text{ mL/h}$$

- Atividade específica metanogênica (A), em kg de DQO/kg ST.d = **0,46**

Os resultados para a atividade metanogênica estão na Figura 11.

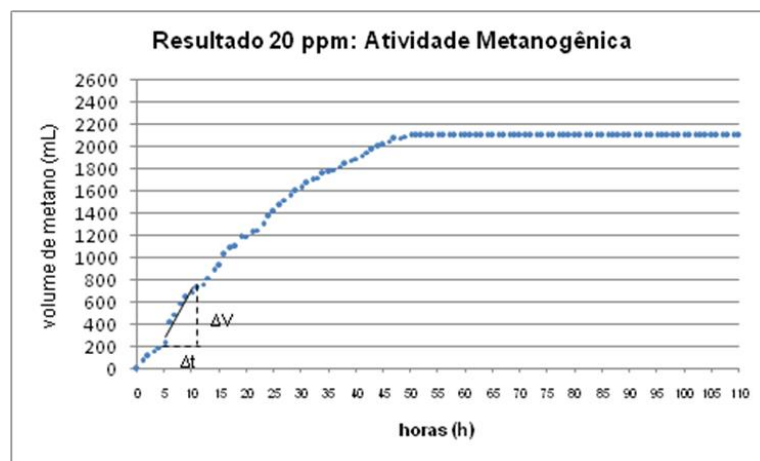


Figura 11: Resultado de 20 ppm da atividade metanogênica em função do tempo

Cálculo da Versatilidade

- Produção Total de metano: **2100 mL**
- Produção teórica de metano: **3064 mL**
- Versatilidade (%) = $(2100/3064) \times 100 = 69\%$

e) Concentração de 30 ppm

- Cálculo da máxima taxa de produção de gás, em litro/hora, através da variação (Δ) do volume de gás metano acumulado / variação (Δ) de tempo

$$\text{Máxima taxa de produção de gás} = \frac{(730 \text{ mL} - 300 \text{ mL})}{(11\text{h} - 6\text{h})} = 86 \text{ mL/h}$$

- Atividade específica metanogênica (A), em kg de DQO/kg ST.d = **0,43**

Os resultados para a atividade metanogênica estão na Figura 12.

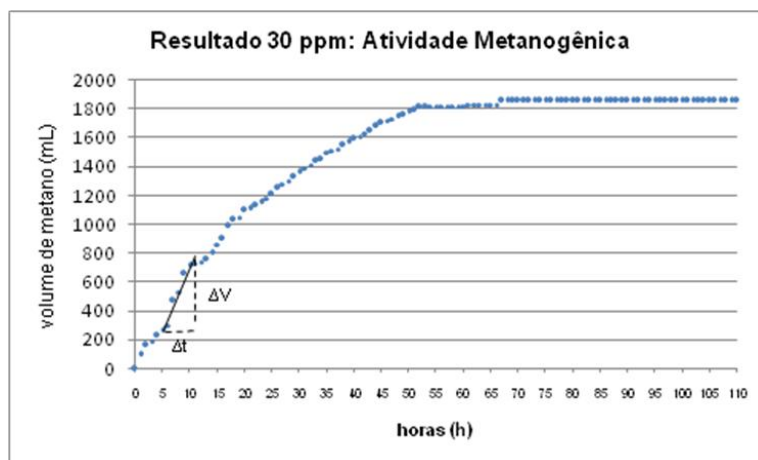


Figura 12: Resultado de 30 ppm da atividade metanogênica em função do tempo

Cálculo da Versatilidade

- Produção Total de metano: **1860 mL**
- Produção teórica de metano: **3064 mL**
- Versatilidade (%) = $(1860/3064) \times 100 = 61\%$

A Tabela 1 mostra o consolidado dos resultados do teste de toxicidade

Tabela 1: Resultados dos Teste de Toxicidade

| Resultado Teste de Toxicidade Produto Y | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| Amostra | Atividade KgDQO/Kg ST | Versatilidade % | % perda Atividade | % perda Versatilidade |
| Branco | 0,62 | 87 | 0 | 0 |
| 5 ppm | 0,54 | 81 | 12,9 | 6,9 |
| 10 ppm | 0,51 | 78 | 17,7 | 10,3 |
| 20 ppm | 0,46 | 69 | 25,8 | 20,7 |
| 30 ppm | 0,43 | 61 | 30,6 | 23,0 |

O limite de toxicidade é dado pela concentração do teste cujos resultados atendem aos seguintes critérios:

Queda Máxima de Atividade Metanogênica: 25%

Valor mínimo de Versatilidade do Branco: 50%

Queda Máxima de Versatilidade: 25%

Pela tabela mostra que até a concentração de 10 ppm do Produto Y no efluente equalizado, é admissível para alimentação do sistema anaeróbio. A partir de uma concentração de 20 ppm este produto afeta a atividade biológica, podendo comprometer todo o tratamento.

Comprando com o Produto X que era utilizado anteriormente, foi possível ver através desses resultados, que o Produto Y é 5 vezes mais tóxico, como não era possível a utilização de uma menor quantidade de produto, pois poderia comprometer a qualidade do processo, foi retomada a utilização do produto X.

4.2) Teste de Atividade no Reator Anaeróbio – Após a troca do produto Y

- **Características médias do Lodo**

Concentração de Sólidos Totais (ST): **36,0 g/L** *

- **Composição dos Testes**

Volume útil do fermentador: **1,8 L**

| COMPONENTES | Conc. (g/L) | m _{total} (g) |
|--|-------------|------------------------|
| Sacarose, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ | 4,0 | 4,0 x 1,8 = 7,2 |
| Hidrogenocarbonato de sódio, NaHCO ₃ | 5,0 | 5,0 x 1,8 = 9,0 |
| Hidrogenofosfato de potássio, K ₂ HPO ₄ | 3,0 | 3,0 x 1,8 = 5,4 |
| Diidrogenofosfato de potássio, KH ₂ PO ₄ | 2,0 | 2,0 x 1,8 = 3,6 |
| Cloreto de amônio, NH ₄ Cl | 0,5 | 0,5 x 1,8 = 0,9 |

Volume de lodo anaeróbio: **350 mL**

Massa de lodo: 7,0(g/L) x 1,8(L) = 12,6 (g)

$$VL = \frac{12,6(g)}{36,0 (g/L)} \times 1000 = 350 \text{ mL}$$

Volume de água destilada: (1800 – 342)/2 = **725 mL** (item 3.2.3)

Volume de água da torneira: (1800 – 342)/2 = **725 mL** (item 3.2.3)

* Valor médio nesse tipo de situação (tamanho de reator, volume e características do efluente)

Cálculos da Atividade Metanogênica (A): (item 3.2.3)

- Determinação do volume de gás metano acumulado x tempo
- Cálculo da máxima taxa de produção de gás, em L/h, através da variação (Δ) do volume de gás metano acumulado / variação (Δ) de tempo

$$\text{Máxima taxa de produção de gás} = \frac{(1470 \text{ mL} - 410 \text{ mL})}{(13 \text{ h} - 4 \text{ h})} = 118 \text{ mL}$$

- Atividade específica metanogênica (A), em kg de DQO/kg ST.d

$$A = \frac{0,118 \text{ (L/h)} \times 24 \text{ (h/dia)} \times (0,001/0,38) \text{ (kg DQO/L de CH}_4\text{)}}{(12,6/1000) \text{ g de lodo (kg ST)}} = 0,59$$

Os resultados para a atividade metanogênica estão na Figura 13.

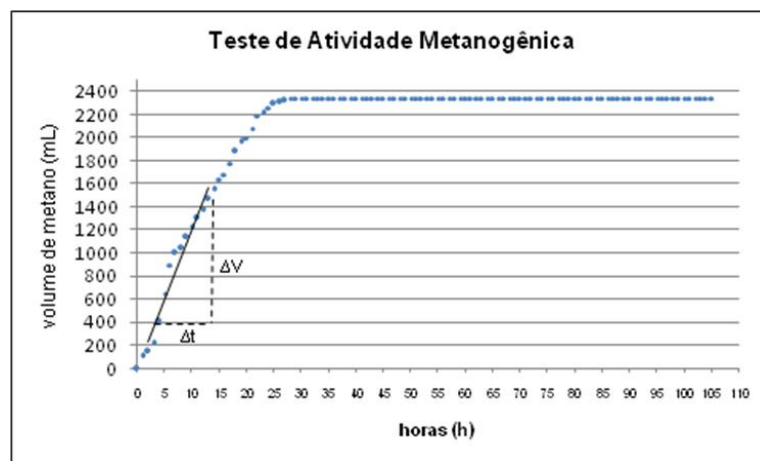


Figura 13: Resultados de atividade metanogênica em função do tempo

Cálculo da Versatilidade

- Produção Total de metano: **2340 mL**
- Produção teórica de metano: **3064 mL**
 - 1,0 g de sacarose = 1,12 g de DQO
 - 1,12 x 4,00 = 4,48 g/L de DQO
 - 4,48 g/L DQO x 1,8 L x 0,38 L de CH₄ = 3,064 L CH₄
- Versatilidade (%) = (2340/3064) x 100 = **76%**

4.3) Teste de Biodegradabilidade do Efluente Equalizado – Após a troca do produto Y

- **Características do Efluente**

DQO Total do efluente equalizado: **3540 mg/L***

- **Características do Lodo**

Concentração de Sólidos Totais (ST): **36,0 g/L***

Atividade Metanogênica: **0,59 Kg de DQO/kg ST.d**

- **Composição dos Testes**

Volume útil do fermentador: **1,8 L**

| COMPONENTES | Conc. (g/L) | m _{total} (g) |
|--|-------------|------------------------|
| Hidrogenocarbonato de sódio, NaHCO ₃ | 5,0 | 5,0 x 1,8 = 9,0 |
| Hidrogenofosfato de potássio, K ₂ HPO ₄ | 3,0 | 3,0 x 1,8 = 5,4 |
| Diidrogenofosfato de potássio, KH ₂ PO ₄ | 2,0 | 2,0 x 1,8 = 3,6 |
| Cloreto de amônio, NH ₄ Cl | 0,5 | 0,5 x 1,8 = 0,9 |

Volume de lodo anaeróbio: **300 mL**

Carga Orgânica = 3540 mg/L x 1,8 L = 6372 mg x 0,000001 = 0,0064 Kg de DQO

Massa de Lodo = 0,0064 kg de DQO/0,59 = 0,0108 kg ST

VL = (0,0108 x 1000) / 36,0 = 0,300 x 1000 = 300 mL

Base de cálculo um dia

Volume de Efluente = (1800 – 300) = **1500 mL**

Volume de água = zero

Como não foi adicionado água no teste todo arraste todos reagentes e lodo para o fermentador foi feito com efluente.

*Valor médio nesse tipo de situação (tamanho de reator, volume e características do efluente)

Cálculos da Biodegradabilidade do Efluente:

- Lançar em gráfico o volume de gás metano acumulado x tempo
- Produção total de metano no teste = **1560 mL**
- Produção teórica de metano= 3540 mg de DQO x 0,38 L de CH₄ x 1,495 = **2011mL**
- Biodegradabilidade (%) = (1560/2011) x 100 = **78%** (Figura 14)

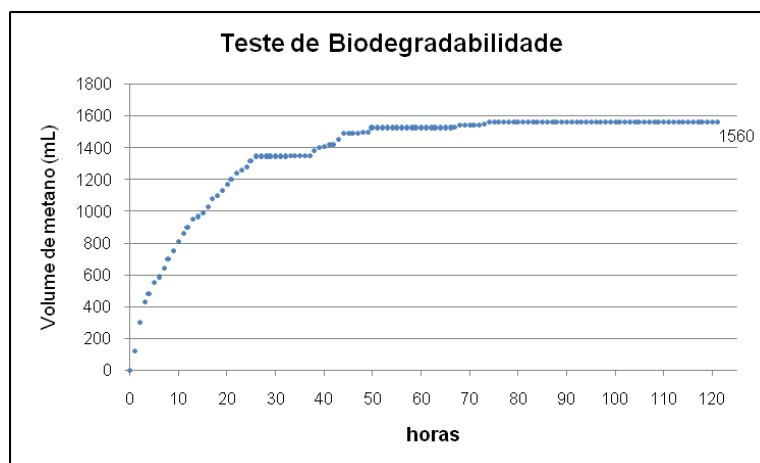


Figura 14: Resultados dos testes de biodegradabilidade em função do tempo

4.4) Parâmetros durante o Tratamento e no Efluente Final

Como dito no Capítulo 3, para que o efluente final fique com todos os parâmetros dentro de especificação, é necessário que algumas características durante o tratamento biológico sejam respeitadas. As Tabelas 2 e 3 mostram os principais parâmetros, suas especificações e os resultados:

Tabela 2: Resultados dos parâmetros para a Etapa Anaeróbia

| Parâmetro | Especificação | Resultado (Média) | Frequência |
|---|----------------|-------------------|------------|
| 1. Potencial Redox do Efluente Equalizado | Menor que 0 | -298,00 | 1 x Turno |
| 2. Biodegradabilidade do Efluente Equalizado | Valor Min 75 | 77,00 | Mensal |
| 3. Temperatura no leito de lodo | Valor Max 39 | 35,20 | 1 x Turno |
| 4. Acidez volátil do leito de lodo | Valor Max 200 | 75,72 | 1 x Turno |
| 5. Sólidos Sedimentáveis na Saída do Reator | Max 5 | 1,40 | 1 x Turno |
| 6. Eficiência da remoção de DQO do Reator | Valor Min 75 | 90,00 | Diária |
| 7. Nitrogênio Amoniacal no Efluente de saída do Reator | Min 5 | 8,70 | Mensal |
| 8. Ortofosfato Filtrável no efluente de Saída do Reator | Valor Min 5 | 5,60 | Mensal |
| 9. Atividade metanogênica | Valor Min 0,30 | 0,59 | Mensal |
| 10. Versatilidade do lodo | Min 75 | 76,00 | Mensal |
| 11. Granulometria do lodo anaeróbio | Valor Min 70 | 91,00 | Mensal |

As conclusões principais são as seguintes:

1. O potencial redox menor que zero mostra que não se tem excesso de descarte de produtos químicos oxidantes;
2. A biodegradabilidade maior que 75% evidência que o efluente que esta chegando para tratamento é biodegradável, podendo ser tratado pelas bactérias anaeróbias;
3. As baterias metanogênicas são muito sensíveis à temperatura, caso essa esteja maior que 39^oC eles não vão produzir o metano de maneira eficiente e dependendo da temperatura podem perder sua atividade.
4. A acidez volátil elevada evidência uma sobrecarga orgânica, gerando um desequilíbrio no sistema metabólico. As bactérias metanogênicas não estão atuando na mesma velocidade das bactérias que realizam a acidificação (bactérias fermentativas);
5. Sólidos sedimentáveis na saída do reator maiores que 5 mL/L.h são um indício de perda de lodo anaeróbio; essa perda pode ser devido, principalmente, à presença de terra diatomácea, produtos químicos e sobrecarga orgânica;
6. A elevada eficiência de remoção de DQO, evidência a quantidade de matéria orgânica que está sendo tratada nesta etapa;
7. A presença de nitrogênio amoniacal é indicativo da disponibilidade de nutrientes, caso esteja menor que 5 mg N/L é necessário dosagem (complementação) de nutrientes no sistema;
8. A presença de ortofosfato filtrável é indicativo da disponibilidade de nutrientes, caso esteja menor que 5 mg N/L é necessário dosagem de nutrientes no sistema;
9. A atividade metanogênica menor que 0,30 kg de remoção de DQO por Kg de sólidos totais de bactéria é um indicativo de esta não trabalhando em ambiente favorável, para atingir o seu ótimo;
10. A versatilidade evidência a diversidade de bactérias no meio, por exemplo existem diversas bactérias do tipo metanogênicas. E caso esta esteja menor que a especificação é um sinal de que nem todas as bactérias estão trabalhando em condições adequadas;

11. Uma granulometria de lodo menor que 70% não é adequada nesse tipo de sistema, pois o mesmo não teria decantabilidade e o lodo não ficaria no leito de lodo;

Tabela 3: Resultados dos parâmetros para a Etapa Aeróbia

| Parâmetro | Especificação | Resultado Médio | Frequência |
|---|-------------------|-----------------|------------|
| 1.Relação F/M (Lodo Ativado) - Aeração prolongada | Min 0,05 Max 0,15 | 0,11 | Semanal |
| 2.Oxigênio Dissolv. no Tanque Aeração-Aeração superfic. | Min 1,00 Max 3,00 | 2,10 | 1 x Turno |

1. A relação F/M, mostra a quantidade de carga orgânica (alimento) por microrganismo. Caso essa seja maior que o limite superior de 0,15, esta acontecendo uma sobrecarga no sistema aeróbio e o contrário também é válido, caso essa seja menor que limite inferior de 0,05, esta com deficiência de alimento. Ambos os casos, acima ou abaixo, prejudicam a eficiência do sistema;
2. O oxigênio dissolvido é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios, então não se pode ter menos que 1,0 mg/L.

Após a análise dos parâmetros durante as etapas do tratamento de efluentes, agora vamos ver os principais parâmetros no efluente final após a finalização do tratamento biológico misto (Tabela 4):

Tabela 4: Resultados combinados do tratamento biológico misto

| Parâmetro | Resultado | Frequência | CONAMA 430 | NT - 202 |
|--|-----------|------------|-----------------------|---|
| Temperatura - Efluentes | 27,30 | 1 x Turno | Max 40°C | Max 40°C |
| pH - Efluentes | 8,38 | 1 x Turno | Min 5 a Max 9 | Min 5 a Max 9 |
| Sólidos Sedimentáveis - Efluentes (Diário) | 0,00 | 1 x Turno | Max 1,0 mL/L | Max 1,0 mL/L |
| Eficiência na Remoção DBO | 99,33 | Semanal | remoção mínima de 60% | Critérios para Lançamento de Carga Orgânica expressas em DBO, serão estabelecidos pelo INEA através de diretrizes específicas (Neste tipo de circunstâncias é de 95%) |
| Óleos Minerais | 11,25 | Semanal | até 20 mg/L | até 20 mg/L |
| Óleos Vegetais e Gorduras Animais | 17,00 | Semanal | até 50 mg/L | até 30 mg/L |
| Cor - Visualmente Ausente | Sim | Diária | - | Visualmente Ausente |

O estudo da toxicidade do produto Y mostrou que este estava sendo utilizado em concentrações impactantes para o tratamento biológico, sua troca foi fundamental para que não acontecesse algo mais crítico na estação, como a perda de lodo anaeróbio. Dessa forma esse estudo, permitiu que os parâmetros da estação fossem restabelecidos e garantindo a qualidade do efluente tratado.

Ficou muito claro que todas as alterações de produtos devem ser comunicadas previamente a estação de tratamento, para que este teste sejam realizados antes e permitindo agir de forma preventiva e não corretivamente.

É de extrema importância a avaliação, por um profissional da área, das propriedades físico-químicas do produto, como sua composição, forma, cor, odor, pH etc. E como é a venda desses produtos químicos, para as indústrias que usam em larga escala, geram bastante lucro para as empresas do ramo, é importante sempre ficar atento as alterações, pois muitas vezes estas alteram o formulação de seus produtos para melhorar a qualidade de limpeza, entretanto podem gerar grandes impactos nas estações de tratamento por processo biológico.

Este trabalho mostrou que para garantir a qualidade do efluente tratado não basta apenas monitorar os parâmetros do efluente final, é de extrema importância monitorar os parâmetros durante o processo de tratamento. Somente dessa forma é possível encontrar alguma anomalia durante o processo de tratamento, e tratá-la o mais rápido possível. Caso contrário sem monitoramento desses parâmetros, o processo pode não acontecer de maneira adequada, podendo gerar um efluente final fora das especificações, e não será possível identificar a onde esta a anomalia do processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostra que o avanço da tecnologia industrial não precisa (nem pode) contribuir para o aumento da poluição hídrica. É possível, sim, ter esse crescimento respeitando as leis ambientais em vigor, o que assegura melhores possibilidades de preservação de um recurso natural tão precioso como a água. Para que isso aconteça é necessário que seja muito bem avaliado o tipo de efluente gerado pela indústria, tanto sua vazão bem como sua composição, e dessa forma definir o tratamento adequado. Em contraposição a muitas leis ambientais que se referem apenas à concentração, para os efluentes da indústria de bebidas a vazão também é uma variável fundamental para se definir a quantidade de carga poluidora de seus efluentes.

Foi possível evidenciar que o tratamento de efluentes pelo processo biológico misto, em indústrias de bebidas, é muito eficaz. Com o controle do processo em todas as etapas é possível atingir todos os parâmetros especificados conforme exigido pela legislação. Este trabalho enfatiza a importância do químico, pois há, na verdade, dois processos combinados que permitem obter um efluente tratado dentro das especificações legais.

É muito importante enfatizar que não basta apenas controlar os parâmetros do efluente final, mas sim durante todo o processo, desde a chegada do efluente na estação (efluente bruto), como nas etapas seguintes. Isto é fundamental para um desempenho ideal do tratamento nos reatores já que, neste caso, os mesmos contêm microrganismos.

As indústrias de grande ou pequeno porte devem estar sempre preparadas para qualquer tipo de acidente e anomalias de processo. Então é necessário possuir um tanque de emergência na estação, bacias de contenção nos locais de armazenamento de produtos químicos e óleos, permitindo com isso é possível evitar ou minimizar impactos ambientais de possíveis acidentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Borsoi, Z.M.F.; Torres, S.D.A.; *A Política de Recursos Hídricos no Brasil*. Revista do BNDES, nº8, dezembro de 1997, 15 pp.
- 2) <http://www.vetorial.net/~regissp/pol.pdf>, acessado em Maio de 2012.
- 3) Mendez, E.A.C.; *Água: Como Lidar com esse Recurso nos dias Atuais*. Monografia de Projeto final de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009, 57 pp.
- 4) Lucio, L.H.S.; *Poluição Hídrica: Uma abordagem sob a Ótica Técnica e Educacional*. Monografia de Projeto final de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005, 153 pp.
- 5) Pereira, R.S.; *Poluição Hídrica: Causas e Consequências*. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos, v. 1, .1, pp. 20-36, 2004.
- 6) <http://oreinodosbichos.blogspot.com.br/2010/04/poluicao-da-agua-um-problema-cada-vez.html>, acessado em Julho de 2012.
- 7) <http://riosvoadores.com.br/educacional/agua/importancia-da-agua>, acessado em Maio de 2012.
- 8) Gordano, G.; *Tratamento e Controle de Efluentes Industriais*. Apostila de curso Tratamento e Controle de Efluentes Industriais (FEN07727), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2004, 81 pp.
- 9) http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3669-efluentes-industriais#.T9SaHNWPmAg, acessado em Junho de 2012.

- 10) Oliveira Netto, A.P.; Reator anaeróbio- aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2011
- 11) <http://www.cedae.com.br/>, acessado em Junho de 2012.
- 12) Lei nº 6.938, *Política Nacional de Meio Ambiente*, de 31/08/1981, *Diário Oficial da União*, 02/09/1981.
- 13) Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430, de 13/05/2011, *Diário Oficial da União*, 16/05/2011.
- 14) Deliberação da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA) nº 1.007, de 04/12/1986, *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, 12/12/1986.
- 15) <http://maps.google.com.br/>, acessado em Junho de 2012
- 16) Barbosa, R.A.; *Fundamentos dos Parâmetros do PTP de ETEI*. Workshop de Meio Ambiente, Ambev: Jacareí/SP, 2012.
- 17) Silva, D.O.; Carvalho, A.R.P.; *Etapas de um Tratamento de Efluentes*. Documento técnico, Kurita, São Paulo, s/ano, 5 pp.