Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

Aplicações da Biotecnologia em Processos Ambientais da Fabricação de Celulose Kraft e de Papel de Eucalipto:

Processos Aeróbicos por Lodos Ativados para Tratamento de Efluentes

Celso Foelkel
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

Março 2014

Eucalyptus Online Book & Newsletter

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 34

Aplicações da Biotecnologia em Processos Ambientais da Fabricação de Celulose Kraft e de Papel de Eucalipto:

Processos Aeróbicos por Lodos Ativados para Tratamento de Efluentes

Organizações facilitadoras:

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Empresas e organizações patrocinadoras:

Fibria

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ArborGen Tecnologia Florestal

Ashland

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel

Celulose Irani

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

Eldorado Brasil Celulose

Klabin

Lwarcel Celulose

Pöyry Silviconsult

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose

Uma realização

Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: Celso Foelkel

Agradecimentos

Com esse capítulo, esperamos estar colaborando para um maior entendimento acerca de realidades e potencialidades que a biotecnologia oferece no tratamento de efluentes industriais no setor de celulose e papel

Esse capítulo tem a missão de dar continuidade aos nossos textos sobre aplicações da biotecnologia, agora em temas ambientais no setor de celulose e papel. Escolhemos como capítulo inicial dessa série de capítulos sobre biotecnologia ambiental o sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados, o mais comum dos sistemas em uso no setor de celulose e papel.

Existe muita literatura sobre esse tema, englobando artigos, palestras, apostilas e aulas de professores de universidades que as disponibilizam em seus websites. Frente a essa diversidade enorme de informações tecnológicas, optei por compor um capítulo de conceitos fundamentais, oferecendo a vocês algo simples, versátil, amplo e mais que tudo - didático. Evidentemente, não se trata de um texto para aqueles que são doutores no assunto – ou para os que queiram aprender sobre equipamentos: o objetivo é exatamente outro – que estudantes, professores, políticos, administradores, legisladores, financistas, agricultores, jornalistas, etc. - enfim, as chamadas partes interessadas da sociedade - possam conhecer mais sobre o tratamento de efluentes com a utilização de microrganismos

que fazem o papel de depuradores da poluição hídrica. Pensei também em escrever algo que pudesse ser muito útil para um grande contingente de pessoas que trabalham nesse setor, talvez uma espécie de alerta de que esses tratamentos são biológicos e biotecnológicos, feitos por seres vivos, que precisam de condições especiais e específicas para máxima eficiência. São seres vivos que merecem nosso respeito e nosso esforço para que possamos lhes oferecer condições apropriadas de trabalho – coisa que infelizmente nem sempre costuma ser lembrado em muitas de nossas fábricas.

Quero principalmente agradecer a alguns autores que têm disponibilizado textos de alta qualidade técnica e que podem perfeitamente se complementarem ao que estamos trazendo com esse capítulo. Graças a eles, tanto eu como vocês, poderemos enriquecer ainda mais nossos conhecimentos sobre esse processo industrial e suas causas de sucesso. Meu agradecimento a alguns amigos e profissionais do conhecimento que enriquecem nossa literatura setorial com suas contribuições técnicas, em especial a:

- Alberto Carvalho de Oliveira Filho
- Alessandra Cunha Lopes
- Álvaro Rodrigues Jiménez Mancinelli
- Anália Christina Pereira Caires
- Analine Souza Gomes
- Ana Luíza Fávaro Piedade
- Ann Honor Mounteer
- António M.P. Martins
- Carlos Ernando Silva
- Cláudio Arcanjo de Souza
- Cláudio Mudado Silva
- Cleuber Lúcio da Silva Rodrigues
- David Charles Meissner
- David Jenkins
- Eduardo Cleto Pires
- Eduardo Lazzaretti
- Eduardo Lucena C. de Amorim
- Emerson Marçal Júnior
- Eric Lynce
- Felipe de Carli
- Hugo Alexandre Soares Guedes
- Jorge Alexandre Kuhn

- Jorge Herrera
- Leandro Coelho Dalvi
- Luciana Nalim
- Magali Christe Cammarota
- Marcelo Antunes Nolasco
- Michael Richard
- Nei Rubens Lima
- Paul Anthony Woodhead
- Pedro Além Sobrinho
- Rick Marshall
- Roque Passos Piveli
- Rosa-Lee Cooke
- Samuel Chaves Melchior
- Sérgio Augusto Silveira Rosa
- Simone Cristina Setúbal Queiroz
- Steve Leach
- Tatiana Heid Furley
- Toni Glymph
- Vera Regina Bottini Gallardo
- Zeila Chittolina Piotto

Já a todos vocês leitores, agradeço mais uma vez toda a atenção e o imenso apoio. Todos vocês nos têm ajudado - e muito - a fazer do **Eucalyptus Online Book** algo muito útil para os técnicos e interessados por esse nosso setor de celulose e papel.

A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.

Celso Foelkel

==========

Aplicações da Biotecnologia em Processos Ambientais da Fabricação de Celulose Kraft e de Papel de Eucalipto:

Processos Aeróbicos por Lodos Ativados para Tratamento de Efluentes

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

A biotecnologia vai aos poucos conquistando espaço em etapas vitais nos processos ambientais da fabricação de celulose e papel

- A BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL
- ÁGUA E EFLUENTES PELO SETOR DE CELULOSE E PAPEL
- O PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PELO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS
- EFICIÊNCIAS E DESEMPENHOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS
- O FLOCO BIOLÓGICO COMO FATOR CHAVE DE SUCESSO NOS TRATAMENTOS POR LODO ATIVADO

- MICROBIOLOGIA DO LODO ATIVADO
- VARIÁVEIS DE CONTROLE OPERACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DOS TRATAMENTOS POR LODO ATIVADO
- O REATOR BIOLÓGICO E O CONTROLE DAS SUAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS OPERACIONAIS
- UTILIZAÇÃO DE SELETOR BIOLÓGICO COMO ETAPA PRÉVIA DO TRATAMENTO DE AERAÇÃO
- A DECANTAÇÃO DO LODO BIOLÓGICO
- RECICLO DO LODO BIOLÓGICO PARA O TANQUE DE AERAÇÃO
- **Desafios Operacionais**: REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE LODO
- **Desafios Operacionais**: DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA RECALCITRANTE
- **Desafios Operacionais**: RESOLVENDO OU PREVENINDO A GERAÇÃO DO LODO INTUMESCIDO ("SLUDGE BULKING")
- **Desafios Operacionais**: REDUÇÃO DA POPULAÇÃO DE BACTÉRIAS FILAMENTOSAS PELA DESINFECÇÃO OXIDANTE
- **Desafios Operacionais**: REDUÇÃO DA SEPTICIDADE DE EFLUENTES
- **Desafios Operacionais**: GESTÃO DOS NUTRIENTES – NITROGÊNIO E FÓSFORO
- **Desafios Operacionais**: GERENCIANDO A FORMAÇÃO DE ESPUMAS
- **Desafios Operacionais**: GERENCIANDO A TOXICIDADE
- **Desafios Operacionais**: GERENCIANDO O DESCARTE DE CINZAS DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO
- BIOAUMENTO NO REATOR BIOLÓGICO
- BIOTRATAMENTO DE LODOS MORTOS E PUTREFATOS DE LAGOAS ASSOREADAS
- ENZIMAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

- MANDAMENTOS PARA GERENCIAMENTO
- INVESTIGANDO AS CAUSAS RAÍZES DOS PROBLEMAS DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR LODOS ATIVADOS
- TRATANDO OS EFLUENTES DAS FÁBRICAS DE CELULOSE E PAPEL DE EUCALIPTO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

A fabricação de celulose e papel evolui em suas tecnologias e os processos biotecnológicos poderão estar cada vez mais presentes – em especial em aspectos relacionados à preservação e controle ambiental

==========

Aplicações da Biotecnologia em Processos Ambientais da Fabricação de Celulose Kraft e de Papel de Eucalipto:

Processos Aeróbicos por Lodos Ativados para Tratamento de Efluentes

A BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL

A biotecnologia ambiental nada mais é do que a aplicação de técnicas biotecnológicas para resolver, prevenir, mitigar ou monitorar problemas de contaminação ambiental. Na área industrial do setor de celulose e papel ela é atualmente, com certeza, o tipo de biotecnologia com maior número de utilizações sendo utilizadas.

Basicamente, a biotecnologia ambiental se apoia no uso de enzimas, microrganismos e até mesmo de organismos superiores para aplicações em:

- Tratamento de poluentes para descontaminação aérea, hídrica ou de resíduos sólidos;
- Geração de biocombustíveis gasosos (biogás, bio-hidrogênio);
- Identificação de problemas de toxicidade ambiental;
- Conversão ou passivação de produtos tóxicos ou perigosos;

- Conversão de poluentes em produtos úteis à sociedade (Exemplo: compostagem de resíduos sólidos);

- Remediação de situações ambientais críticas;

- Biomonitoramento ambiental; etc.

Todos os processos da biotecnologia ambiental sempre se apoiam em alguns fundamentos básicos, quais sejam:

- Correta identificação do tipo de poluente a ser tratado, a sua concentração e a sua biodegradabilidade;

- Identificação de agentes biológicos que serão incumbidos de biodegradar o poluente de forma segura, eficiente e permanente (microrganismos, enzimas, plantas, consórcio de organismos, etc.);

- Identificação das condições ideais para que o tratamento seja seguro, efetivo e eficiente;

- Avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos desse tratamento;

- Mensuração dos custos operacionais e de investimentos associados a essa aplicação biotecnológica;

- Comparação com outros tipos de tratamento ou tecnologias capazes de realizar o mesmo tipo de conversão;

- Identificação das periculosidades envolvidas para trabalhadores, comunidades e meio ambiente.

Diversas biotecnologias ambientais já estão sendo praticadas rotineiramente pelo setor de celulose e papel em suas áreas industriais:

- Tratamento aeróbico de efluentes por processos como lodos ativados, lagoas aeradas, etc.;

- Tratamento anaeróbico de efluentes e de resíduos sólidos;

- Tratamento de contaminantes gasosos (biofilmes);

- Compostagem aeróbica de resíduos sólidos;

- Compostagem anaeróbica de resíduos sólidos para geração de biofertilizante e biogás de forma simultânea;

- Utilização de enzimas específicas para destruição de poluentes de difícil degradabilidade;

- Utilização de plantas para tratamento de efluentes (tratamentos por leitos cultivados ou "wetlands", fitorremediação, etc.);

- Biorremediação de solos contaminados;

- Reabilitação de áreas degradadas por poluentes, extração de minérios, etc.;

- Avaliação de ecotoxicidade e de impactos ambientais; etc.

A biotecnologia ambiental não é algo recente no setor. Antes mesmo de ela se tornar um ramo virtuoso e promissor da biotecnologia, já existiam práticas ambientais adotadas pelo setor, mesmo que de forma primitiva. É o caso das antigas e enormes lagoas de polimento usadas para melhoria da qualidade de efluentes industriais, os quais recebiam nas fábricas quando muito um tratamento primário para remoção de alguma quantidade de sólidos suspensos.

Felizmente, a temática ambiental evoluiu muito no setor de celulose e papel, em especial com a adoção de diversos tipos de processos biotecnológicos. A grande vantagem da biotecnologia é que os organismos utilizados para a conversão dos contaminantes exigem apenas condições adequadas para viverem bem e alguns aditivos para sua nutrição (nutrientes como nitrogênio e fósforo). Eles não recebem salários e a principal fonte de alimentos oferecida para eles é a própria carga poluente que terão a missão de eliminar ou minimizar. Mesmo assim, os custos dessas biotecnologias não são pequenos, apesar de bastante compatíveis com as ansiedades do setor, pela excelente relação benefício/custo.

Graças às efetividades e rendimentos excepcionais desses processos, além da grande segurança ambiental e de saúde ocupacional que oferecem, as biotecnologias ambientais no setor de celulose e papel mostram ainda enormes potenciais para crescimento em curto prazo.

==========

ÁGUA E EFLUENTES PELO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

A indústria de fabricação de celulose e papel é grande geradora de efluentes industriais em virtude das enormes quantidades de água demandadas em suas operações processuais. Para a fabricação de uma tonelada de celulose de mercado em geral se consomem entre 20 a 50 metros cúbicos de água, a maioria dos quais retorna aos corpos de água como efluentes. Também a fabricação de papel é grande usuária de água e, portanto, sendo geradora de efluentes, entre 10 a 20 metros cúbicos por tonelada de papel.

Existe atualmente um grande esforço no sentido de minimização do consumo de águas e consequente geração de efluentes nas áreas industriais do setor. Recentemente escrevi um enorme capítulo do nosso Eucalyptus Online Book sobre essas tendências de melhor uso da água e redução na geração de efluentes no setor de celulose e papel. Ele está a seguir citado para vocês navegarem nele, caso se interessem por consultá-lo. Prometo que não vou decepcioná-los com o que nele escrevi. Também ficarei extremamente grato pela leitura que fizerem do mesmo, na expectativa de que ele possa lhes ser de utilidade:

Utilização dos conceitos da ecoeficiência na gestão do consumo de água e da geração de efluentes hídricos no processo de fabricação de celulose kraft de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 23. 145 pp. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT23_AguasEfluentes.pdf

De uma forma geral, essa tendência de evolução da qualidade ambiental das fábricas em relação a águas e efluentes está associada a uma série de decisões empresariais e tecnológicas estratégicas, quais sejam:

- Seleção adequada das melhores tecnologias processuais e que sejam ambientalmente mais eficientes;
- Fechamento dos circuitos de água e efluentes;
- Seleção de sistemas de recuperação de perdas e derrames ("spills");
- Minimização de seus impactos ambientais;
- Redução da geração de poluentes;
- Seleção de tecnologias de controle ambiental;
- Perseguição dos níveis de parâmetros ambientais além das restrições legais exigidas pelas autoridades ("beyond compliance");
- Monitoramento ambiental de ar, água, solos, saúde ocupacional;
- Obtenção de certificações ambientais e de selos verdes que tenham credibilidade e aceitação pela sociedade;
- Aderência à cultura de melhoria contínua;
- Aderência a processos e práticas ecoeficientes e de produção mais limpa.

Afortunadamente, o setor de celulose e papel tem mostrado compromisso ímpar para a melhoria de seus aspectos ambientais. As biotecnologias têm ajudado sobremaneira para que essas metas ambientais sejam atingidas. Trata-se de inúmeras aplicações da biotecnologia que se vêm tornando rotineiras no mundo celulósico-papeleiro, isso a nível global e não apenas no setor brasileiro de celulose e papel de eucalipto. Dentre essas biotecnologias ambientais

no setor, a mais utilizada tem sido o tratamento de efluentes pelo sistema biológico de lodos ativados, a qual será discutida e apresentada com muita ênfase nesse capítulo do Eucalyptus Online Book.

As estações de tratar efluentes por sistemas de lodos ativados se iniciaram timidamente no Brasil no início dos anos 80's, mas já começaram com alto nível tecnológico, como foi o caso da instalação de um reator Unox de alta carga com injeção de oxigênio de alta pureza na fábrica da ex-Riocell, em 1983, na cidade de Guaíba/RS. Esse tratamento secundário era seguido por um sistema de clarifloculação com sulfato de alumínio permitindo que aquela empresa mostrasse resultados ambientais únicos para a época, tendo servido de referência mundial para estabelecimento de restrições ambientais, até mesmo para a U.S. Environmental Protection Agency, com suas famosas "cluster rules".

A tecnologia de lodo ativado se consolidou bastante ao longo dos anos 90's, passando a se constituir hoje em uma espécie de obrigação de cada nova fábrica de celulose e/ou papel em ter esse tipo de tratamento secundário. As suas virtudes, as suas dificuldades e as suas demandas serão objeto de nosso foco nas próximas seções desse capítulo.

O PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PELO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

Apesar de ainda existirem no setor diversas fábricas de celulose e papel utilizando lagoas aeradas para tratamento de efluentes a nível secundário, a maioria das novas e modernas fábricas já possui aplicações biotecnológicas mais complexas, como é o caso das instalações de tratar efluentes pelos sistemas de lodos ativados. As lagoas aeradas estão sendo mais adotadas por fábricas de celulose e papel não branqueados, onde as cargas poluentes são menores e mais simples de serem tratadas em função da maior biodegradabilidade dos compostos orgânicos presentes nos efluentes. Essas fábricas em geral estão integradas para a fabricação de papéis de embalagem (papelões, cartões, sacos industriais, etc.).

A maior parte da produção brasileira de celulose consiste de celulose branqueada de eucalipto, tanto por fábricas de celulose de mercado como por fábricas integradas para a fabricação de papéis brancos de imprimir e escrever.

As fábricas que branqueiam celulose possuem teoricamente maiores gerações de efluentes, pois o branqueamento é a unidade industrial do processo produtivo que consome as maiores quantidades de água nesse tipo de fabricação. Em fábricas modernas de celulose de mercado, o branqueamento consome praticamente 40

a 50% de toda a água necessária para a fábrica. Também, os efluentes das plantas de branqueamento são pouco recuperados em sistemas de fechamento de circuitos em função da presença de compostos indesejáveis, acumulativos ou prejudiciais ao processo: cloretos, cloritos, cloratos, ácidos, etc. Esses efluentes são ricos em carga orgânica, já que o rendimento do branqueamento é de aproximadamente 95% - o que significa que cerca de 5% da massa seca de polpa é ali dissolvida e migra para os efluentes do branqueamento. Esses contaminantes são problemáticos, já que são mais difíceis de serem degradados em função da presença de organoclorados e compostos recalcitrantes de lignina oxidada. É por essa razão que as fábricas de celulose branqueada de eucalipto no Brasil possuem estações mais sofisticadas de tratamento de efluentes, as quais invariavelmente possuem um tratamento secundário biológico com a aplicação do conceito de lodos ativados. Pouquíssimas empresas possuem outros tipos de formas de tratamento biológico aeróbico, como biofilmes, reatores com leito móvel, etc.; embora algumas os usem suplementarmente e com razoáveis níveis de sucesso.

O sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados teve seus fundamentos desenvolvidos por pesquisadores de engenharia sanitária na Inglaterra, por volta de 1914. Os técnicos ingleses Edward Ardern e William Lockett praticamente foram pioneiros no lançamento das bases conceituais do processo de tratamento de esgotos domésticos por processos oxidativos aeróbicos com bioaumentação da população microbiológica.

O processo basicamente consiste na aceleração do processo de oxidação e decomposição biológica da matéria orgânica dissolvida nos esgotos através do aumento considerável da população microbiológica em um tanque de oxidação ou reator biológico. Na verdade, o processo fundamenta-se nos mesmos princípios que acontecem naturalmente nos corpos receptores, na presença de oxigênio, já que os microrganismos envolvidos são aeróbicos. Esse tipo de processo de biodegradação é também conhecido como oxidação biológica da matéria orgânica. Com a utilização de oxigênio, organismos especializados aeróbicos respiram e degradam as substâncias orgânicas poluentes, as quais são servidas a eles como alimento. Com isso, eles obtêm a energia necessária para o metabolismo celular e o carbono para formação de novas células. Essa energia é utilizada para a síntese de novas células, seja do microrganismo em si ou pela sua reprodução com a formação de novos indivíduos.

Existem três tipos principais de compostos orgânicos de biomassa para serem degradados como poluentes. São os fragmentos de lignina, de extrativos e de carboidratos holocelulósicos.

O processo metabólico que utiliza o oxigênio na quebra de moléculas orgânicas naturais para a obtenção de energia e carbono é chamado de respiração aeróbia (ou respiração aeróbica) e obedece às equações apresentadas mais adiante.

Em termos estequiométricos, a degradação da glucose e da siringila da lignina seguiriam as seguintes reações teóricas:

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + Energia

(Glucose) (Oxigênio) (Gás Carbônico)

(180 g) (192 g) (264 g)

- 1,06 toneladas de Oxigênio por tonelada de glucose degradada
- 1,46 toneladas de Gás Carbônico por tonelada de glucose degradada

e ainda:

$C_{11}H_{16}O_2 + 14\ O_2 \rightarrow 11\ CO_2 + 8\ H_2O$ + Energia

(Siringila) (Oxigênio) (Gás Carbônico)

(180 g) (448 g) (484 g)

- 2,49 toneladas de Oxigênio por tonelada de fenil propano do tipo siringila degradado
- 2,69 toneladas de Gás Carbônico por tonelada de fenil propano do tipo siringila degradado

Em ambos os casos, os microrganismos utilizam grandes volumes de oxigênio e geram enormes quantidades de gás carbônico para obtenção da energia que necessitam. Entretanto, a degradação biológica não ocorre de forma completa – nem todo carboidrato ou lignina presentes são degradados até completa destruição molecular.

Além disso, parte do carbono não se transfere para a atmosfera, pois é aproveitada pelo microrganismo para a síntese orgânica de seus constituintes celulares e de sua prole. Já a energia é utilizada para o metabolismo celular e produção de novos tecidos, bem como gasta em atividades rotineiras dos microrganismos como mobilidade, locomoção, alimentação, equilíbrio térmico, reprodução, etc. Outra parte dessa energia acaba se perdendo para o meio aquoso.

As missões básicas do tratamento biológico seriam então duas:

- Conversão de parte da poluição orgânica e de seus constituintes (carbono, oxigênio, nitrogênio, cloretos, etc.) em compostos ambientalmente e molecularmente mais simples como: CO_2; H_2O, CH_4, N_2, etc., os quais se perderiam para a atmosfera ou se incorporariam nos efluentes sem causar danos aos corpos receptores;

- Incorporação de parte da poluição orgânica dissolvida e presente nos efluentes em células dos corpos de microrganismos formados pelo crescimento da população microbiológica, que depois seriam removidos como lodo biológico, um resíduos sólido do processo de lodos ativados.

O crescimento populacional da microbiota é um dos requisitos vitais do processo. Por isso mesmo, o sistema de lodos ativados possui um sistema de remoção dos corpos excedentes dos microrganismos (os que são formadas em adição à quantidade

requerida de microbiota no reator biológico). Esse material excedente removido é que se chama de lodo biológico ou lodo secundário, diferenciando-se do lodo primário, que são apenas sólidos suspensos e sem vida que são removidos por decantação em um clarificador primário (fibras, fibrilas, areia, cargas minerais, etc.).

O lodo biológico removido tem dois destinos principais: uma parte é descartada para aterros industriais ou compostada ou incinerada em caldeiras de recuperação ou de biomassa. Essa fração é o que se chama de lodo excedente. A outra parte é reciclada ou retornada ao reator biológico como fonte de novas células ativas ao processo. É o que se denomina de reciclo ou reciclagem do lodo biológico.

O lodo biológico (marrom) difere do lodo primário (cinza) em cor, odor, biologia e consistência

O processo de lodos ativados consiste na simulação do que acontece na Natureza, somente que de forma magnificada e concentrada. A magnificação consiste no bioaumento da população microbiológica que faz a tarefa de biodegradar a matéria orgânica poluente. Já a concentração se deve ao fato de que o tratamento demanda um volume muito pequeno de reator biológico em relação ao que aconteceria se as coisas ocorressem naturalmente nos corpos receptores dos efluentes (rios, lagos, etc.).

A concentração de uma enorme população microbiológica é feita em um reator biológico ou tanque de aeração, onde se provoca o aumento populacional pelo reciclo de lodo e se injeta oxigênio na forma de injetores de ar ou de oxigênio de alta pureza. A função do oxigênio é ser oferecido como o elemento vital para que os

microrganismos respirem; mas ele tem uma função secundária que é promover um turbilhonamento para impedir que os corpos de microrganismos se decantem para o fundo do reator. O sistema é concebido de forma a evitar que ocorra decantação dentro do reator biológico – ali os flocos de microrganismos devem estar flutuando e suspensos no meio aquoso de maneira a terem máximo contato com o alimento sendo oferecido e dissolvido nesse líquido. O turbilhonamento e a agitação são fortemente executados tanto pelos aeradores de superfície como pelos sistemas de injeção através difusores instalados no fundo do reator. Essa agitação toda e o suprimento de oxigênio promove o que se denomina de "crescimento suspenso" da microbiota, que é outra das bases conceituais do sistema de lodos ativados.

Todo sistema de lodos ativados possui então um reator biológico onde ocorre a maioria das reações biotecnológicas, o que nada mais é do que a alimentação dos microrganismos comendo a matéria poluente dissolvida que é ofertada como alimento. Por isso, o poluente orgânico é também denominado de Alimento (A) ou "Food" (F), ou seja, comida para a microbiota.

A microbiota se alimenta dessa poluição orgânica dissolvida e a converte em: energia, gás carbônico, água e em corpos de novos microrganismos ou em células adicionais de corpos de organismos maiores e multicelulares (metazoários). Evidentemente, a poluição não oferece todos os requisitos alimentícios que os microrganismos necessitam para seu metabolismo. Através de avaliações operacionais, estimam-se então as adições de nutrientes complementares a serem adicionados ao sistema, como fontes principalmente de nitrogênio e fósforo, mas também podem ser ofertados outros nutrientes menores, caso requeridos (micronutrientes).

Nas fábricas de celulose e papel que usam a biomassa da madeira como matéria-prima, grande parte dos nutrientes já é disponibilizada pela própria conversão da madeira, que libera significativa porção de seus elementos minerais para as águas de lavagem das polpas, que acabam indiretamente indo aos efluentes. Costuma-se então adicionar apenas nitrogênio (ureia) e fósforo (ácido fosfórico) como elementos nutrientes vitais para suprir as carências da microbiota.

O grande alavancador do sucesso para altos rendimentos em curto espaço de tempo consiste na introdução de grandes quantidades de microrganismos no reator biológico – isso potencializa a enorme ação de biodeterioração no interior do reator biológico, desde que se ofereçam as quantidades adequadas de oxigênio e nutrientes. Os microrganismos devem encontrar no reator as

condições adequadas para crescimento e reprodução, caso contrário, eles podem morrer e seriam apenas sólidos suspensos sem vida e sem metabolismo presentes no líquido do reator.

A população microbiológica é continuamente renovada pela reintrodução de parte dos organismos que foram retirados no final do processo. Portanto, parte do lodo extraído ao final do processo, que consiste em uma etapa de decantação de sólidos, acaba retornando ao reator como lodo de retorno ou de reciclo. O lodo excedente é descartado ou serve como matéria-prima a outros processos na fábrica ou fora dela.

Graças a essa potencialização e bioaumentação microbiológica é que o sistema por lodos ativados consegue maravilhosas taxas de remoção de poluentes orgânicos expressos como DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio ou DQO – Demanda Química de Oxigênio.

Dessa forma e simplificadamente, os fundamentos básicos de um sistema de lodos ativados são os seguintes:

- Dispor de um reator biológico adequado para bom desempenho hidráulico;

- Recircular microrganismos (retorno de lodo) para manter uma alta concentração de biomassa microbiológica viva, ativa e mantida suspensa no líquido no interior do reator;

- Garantir oferta adequada de oxigênio e de nutrientes para a maximização da atividade biológica no reator;

- Misturar e turbilhonar tudo nas dosagens requeridas, nem demais e nem de menos;

- Garantir ausência de toxicidade no reator para evitar dano à colônia de microrganismos;

- Descartar a biomassa biológica em excesso (lodo excedente).

O lodo é recirculado ao reator para permitir que se façam ajustes na quantidade de biomassa biológica ativa no mesmo. Se não houvesse esse reciclo de lodo, a biomassa microbiológica do reator iria aos poucos sendo extraída e o sistema perderia rendimentos na biodegradação da DBO e DQO. Exatamente por se usar um lodo reciclado, faminto e ativo como semente ou inóculo ao reator é que o sistema se denomina de "lodo ativado".

Outra máxima do sistema consiste em se adequar a colônia de microrganismos ao tipo de poluentes a serem degradados. Cada tipo de industrialização oferece uma combinação de poluentes como alimento. É o caso das fábricas de celulose kraft branqueada ou não branqueada, fábricas de papel reciclado, fábricas de pastas de alto rendimento, etc. Existe também enorme aplicação desse tipo de tratamento para estações de esgotos cloacais em grandes cidades- nesses casos, o lodo também é chamado de biossólido. Outras denominações para esse lodo de sistemas biológicos aeróbicos por lodo ativado são: lodo orgânico, lodo secundário, lodo biológico, lama ativada, biomassa orgânica, biossólido, lama orgânica, etc.

Por ser um processo baseado em seres vivos que oferecem seus serviços de forma gratuita para nós humanos, devemos ter respeito aos mesmos e tentar entender suas necessidades e exigências para que possam ter máximos rendimentos na sua difícil tarefa de decompor poluentes.

Quanto maiores forem a concentração e a quantidade de poluentes a tratar, maior terá que ser a população de microrganismos que deve ser colocada para atuar sobre esses poluentes, caso contrário o sistema perde eficiência. Dentro de certos limites, uma alternativa é o aumento do tempo de atuação da microbiota, em sistemas estendidos ou prolongados.

Portanto, todo o sucesso do processo implica em que os operadores devam entender as necessidades da colônia de microrganismos e tratá-la muito bem, oferendo a ela seu banquete diário, mas em condições de ser bem comido. Interessa que esses

organismos heterótrofos (que precisam de fonte externa de alimentos) recebam um alimento em condições uniformes e sem choques de constituintes e também que junto ao alimento venham as iguarias complementares (oxigênio e nutrientes). Com isso, a colônia se alimenta bem, cresce em população e converte poluição orgânica em gás carbônico, água e corpos de novos organismos (pela procriação). Muito simples, conceitualmente, concordam?

Quanto maiores forem a diversidade e a população ativa de microrganismos, mais saudável será a microbiota. É importante que tenhamos bactérias, protozoários, ciliados, metazoários, até mesmo fungos e algas, todos envolvidos no processo de biodegradação, trabalhando complementarmente - em alguns casos, um servindo de alimento para os outros. Por exemplo, protozoários se alimentam de bactérias e ao reduzirem a população bacteriana, estimulam que as bactérias remanescentes se procriem mais na tentativa de restabelecer o equilíbrio populacional.

Um sistema vivo como esse precisa estar equilibrado e não receber poluentes tóxicos que possam causar grandes estragos na microbiota.

Isso tudo é uma preciosidade que a Natureza oferece para que nós humanos utilizemos em nossas fábricas, mas com respeito e compromissos, que isso fique bem claro desde agora e até sempre.

As principais vantagens dos sistemas de lodo ativado são as seguintes:

- Processos altamente eficientes para reduções de cargas poluentes orgânicas e expressas como DBO e DQO;
- Baixo custo de investimentos – alta relação benefício/custo;
- Muito menor área de tratamento do que os sistemas de lagoas aeradas;
- Permite reuso do efluente tratado em operações fabris como: lavagem de toras, fabricação de licores na caustificação, lavagem de pisos, irrigação de plantas, etc.;
- Alta confiabilidade;
- Alta flexibilidade operacional em função dos desenhos de engenharia desenvolvidos;
- Projetados para trabalhar com 100% de continuidade operacional através construção de sistemas duplicados (dois

reatores biológicos e dois clarificadores secundários para trabalho em série ou em paralelo);

- Não produz odores, não atrai insetos, não oferece condições muito adequadas a vermes, vírus e outros patógenos; etc.

Entretanto, são relatadas algumas desvantagens:

- Geração de resíduo volumoso e difícil de desaguar (lodo biológico);

- Não atua sobre sólidos suspensos orgânicos de difícil biodegradabilidade (fibras, fibrilas, finos, serragem, fragmentos de casca, etc.);

- Não tem efetividade alguma sobre íons minerais presentes no efluente (sódio, potássio, magnésio, titânio, cloretos, etc.);

- Tem baixa capacidade de reduzir coliformes (50 a 70%);

- Tem baixa eficiência para reduzir cor e concentração de AOX (halogenados orgânicos adsorvíveis em carbono ativo) do efluente;

- Muito sensível a condições inadequadas à vida dos microrganismos (temperatura, salinidade, condutividade, presença de compostos tóxicos, surfactantes, microbicidas, etc.);

- Exige nas fábricas de celulose e papel de grandes e sofisticados sistemas para abatimento da temperatura dos efluentes (trocadores de calor, torres de resfriamento, etc.);

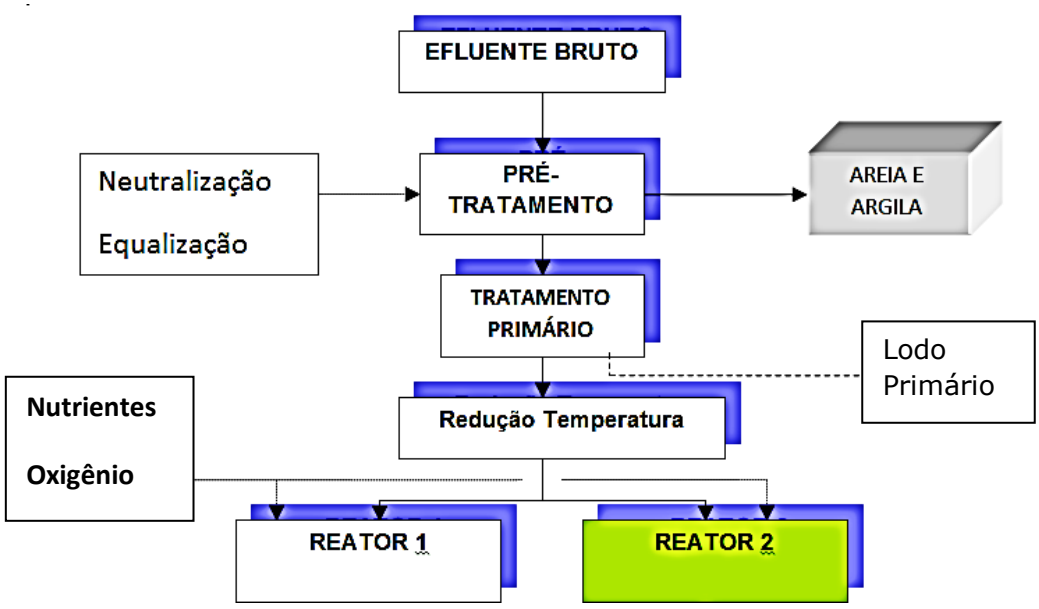
- Requer operação com controles sofisticados e adequados níveis de automação;

- Requer elevado consumo de energia e de químicos (oxigênio, nitrogênio e fósforo, mais os corretivos de pH do efluente);

- Elevadíssimo custo de descarte ou reciclagem do lodo orgânico gerado como resíduo sólido.

Tendo em vista o fato de que o sistema de lodos ativados não atua sobre compostos orgânicos grosseiros e suspensos como fibras e restos de casca e madeira, nem sobre os elementos minerais presentes nos efluentes (carbonato de cálcio, caulim, etc.), as

instalações de lodo ativado exigem sistemas de pré-tratamento do efluente antes que esse seja introduzido no reator biológico. Esses sistemas de pré-tratamento têm como objetivo adequar o efluente para que ele possa servir de alimento sem causar danos ou prejuízos aos rendimentos que a microbiota pode resultar no reator biológico. Dentre esses tratamentos estão: remoção de sólidos suspensos e inertes e que sejam decantáveis; ajuste do pH; equalização e mistura adequada de efluentes de qualidades distintas; redução de temperatura, dentre outros.



Um sistema clássico de tratamento de efluentes, que esteja no estado-da-arte tecnológico em modernas fábricas de celulose branqueada de eucalipto, é constituído das seguintes seções:

- Unidade de gradeamento para remoção de pedras, pedaços de madeira ou casca e outras contaminações grosseiras;
- Câmara de desarenação, para retirada de areia;
- Decantador primário para remoção de areia fina, fibras, cargas minerais da fábrica de papel, etc.;
- Tanque de equalização de efluentes, para misturar efluentes alcalinos e efluentes ácidos e promover sua adequada mistura para evitar diferenças grandes na alimentação em função de cargas orgânicas variadas;

- Tanque de neutralização, para correções de pH do efluente misturado para valores entre 6,5 a 8;

- Sistema de resfriamento do efluente para abaixamento de sua temperatura de valores entre 65 a 70ºC para valores idealmente desejados entre 30 a 38ºC (condições para melhor desempenho dos microrganismos).

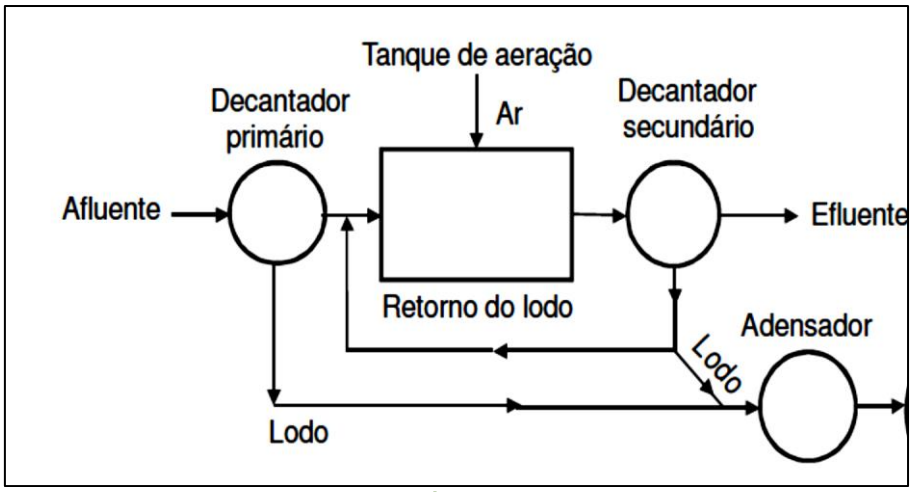
Existem diversos erros conceituais que costumam ser praticados em projetos de estações de tratamento de efluentes, principalmente nesses estágios iniciais. Dentre eles, gostaria de destacar os mais relevantes:

- Mistura de todos os efluentes em uma câmara de equalização, o que significa colocar efluentes de baixa carga com outros quase limpos, enviando depois tudo para um enorme sistema de tratamento de enormes fluxos de efluente bruto.

- Decantador primário de dimensões exageradas, muitas vezes recebendo todos os efluentes da fábrica, quando muitos desses efluentes setoriais sequer possuem sólidos suspensos para serem removidos. Os exagerados tempos de retenção nesses equipamentos costumam trazer condições de septicidade (apodrecimento parcial) da matéria orgânica presente nos efluentes. Dessa septicidade são gerados alguns compostos químicos de metabolização preferencial por algumas bactérias (ácidos graxos voláteis e íons sulfeto) e que acabam afetando o equilíbrio da população microbiológica no reator. Esses compostos colaboram para o crescimento exagerado das bactérias filamentosas no reator biológico e clarificador secundário, como será visto mais tarde nesse capítulo.

- Instalação de torres de resfriamento que tratam diretamente o efluente bruto, lançando para a atmosfera uma neblina densa desse efluente sem tratamento algum. Esses efluentes, lançados ao ar que engloba a fábrica, representam entre 2 a 3% do fluxo total do efluente bruto. Logicamente é uma concepção inadequada, pois um efluente, que não serve para ser lançado ao curso de água receptor, acaba sendo jogado à atmosfera sem nenhum constrangimento. Mais apropriado seria ter uma condensação dessa neblina ou um conceito de troca indireta, sem contato do efluente com o ar. A alternativa mais

ecoeficiente seria a de recuperar esse calor do efluente nas próprias áreas onde os efluentes quentes são produzidos. Seria o caso de instalação de trocadores de calor para os efluentes do branqueamento ou dos condensados quentes da evaporação.



Fonte: Pedro Além Sobrinho (2013)

Após as unidades de pré-tratamento, o efluente neutralizado, equalizado e resfriado será enviado ao tratamento biológico, que é constituído de:

- Câmara de mistura do lodo de retorno com o efluente bruto a ser tratado, antes de serem introduzidos juntos no reator biológico (ou no seletor, como veremos mais adiante);

- Reator biológico ou tanque de aeração, onde ocorrerão as reações biológicas que precisam ser administradas pelos operadores;

- Sistema de dosagem e adição de nutrientes (nitrogênio e fósforo);

- Sistema de aeração para injeção contínua e intensa de ar ou de oxigênio de alta pureza;

- Clarificador ou decantador secundário, para separação do lodo biológico do efluente clarificado. Na verdade, o lodo é constituído de sólidos suspensos que se formaram a partir da alimentação dos poluentes pelos microrganismos – em resumo – é poluição que foi convertida em corpos de microrganismos. Esses equipamentos têm dois objetivos: enquadrar o efluente secundário nos limites da legislação pertinente para sólidos

suspensos e recuperar o máximo de lodo - para descartar uma parte e retornar outra ao reator.

- Lagoa ou tanque de estabilização de lodo, para permitir que os seres vivos do lodo continuem a degradar a eventual carga poluente residual ainda presente nele. Como parte das células do lodo já estão mortas, também ocorre um desejado canibalismo e saprofitismo nesse ponto do processo, com a microbiota viva se alimentando de células e corpos mortos. Com isso, a estabilização do lodo possibilita uma redução na geração de equivalente a peso seco de lodo a descartar.

- Sistema de adensamento de lodo estabilizado, para elevação da consistência do lodo ao máximo que a tecnologia permitir (centrífugas, prensas, filtros-prensa, etc.). Quanto maior a consistência do lodo a descartar, menor será o peso de lodo a ser manuseado, transportado e disposto em aterros ou encaminhado para compostagem ou incineração. No caso de queima desse lodo, essa prensagem ou centrifugação são vitais para que o lodo não tenha poder calorífico negativo na sua combustão (ou seja, consuma energia e não ofereça energia líquida). Os valores usuais para consistência de lodo a descartar variam entre 15 a 30%. Os lodos são materiais muito difíceis de serem compactados, prensados e desaguados em função da natureza biológica e higroscópica dos corpos de microrganismos.

- Sistema de recirculação de lodo, que objetiva a reintrodução de lodo ativo e faminto por alimento para o interior do reator biológico. Esse lodo deve ter apetite pelo alimento orgânico que corresponde à poluição, portanto, não se deve recircular lodos velhos e muito estabilizados. O lodo a recircular deve ser aquele retirado diretamente do clarificador secundário e não o lodo muito estabilizado que se quer descartar como resíduo sólido.

- Lagoa de emergência, preferencialmente duas para favorecer limpezas e manutenções, com capacidade somada de aproximadamente um dia de operação da fábrica;

- Sistema de monitoramento e controle, com alta tecnologia, pois a instalação é muito dependente de dados online e confiáveis, em especial de pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforo, carbono orgânico total, temperatura, condutividade, etc. Como a maior parte da atividade biológica ocorre no início do reator, a fase inicial do reator é crítica para controle da aeração – não pode faltar oxigênio nessa fase, que consegue degradar em poucos minutos (45 a 90) cerca de 65 a 80% da DBO de

entrada do alimento. Qualquer desbalanceamento ou carência nutricional nessa etapa são perversos à microbiota, pois é ai na saída dessa fase inicial do reator que o floco microbiológico começará a se consolidar e adensar - e desses flocos dependerá a eficiência total do sistema.

- Seletor biológico (alternativo): tamanha é a importância dessa fase inicial da biodegradação no tanque de aeração que alguns sistemas são desenhados com um tanque inicial especial chamado seletor biológico. Os seletores têm a finalidade de causar forte turbilhonamento e altas taxas de injeção de oxigênio, para com isso, promover e estimular o crescimento das bactérias formadoras de flocos e reduzir em grande proporção a quantidade de alimento (redução rápida e drástica de DBO – ou alimento). Isso tudo deve acontecer antes da formação do floco biológico, que se formará a seguir no reator, na etapa seguinte da viagem do efluente no sistema biológico. Os seletores favorecem muito o crescimento microbiológico e de forma controlada em relação às espécies que estimula crescer. Como o floco se formará a seguir no reator, o turbilhonamento causado pela grande adição de ar/oxigênio não interferirá na formação do floco, pois as bactérias formadas de floco estarão ainda suspensas na fase líquida à espera de uma situação mais favorável para formarem os seus flocos.

Um dos indicadores mais importantes em sistemas de lodos ativados é a famosa relação A/M ou F/M:

F = A = Comida, Alimento, "Food", Carga Poluente de DBO

M = Microrganismos, Biomassa Microbiológica; Sólidos Suspensos Voláteis (Material orgânico dos sólidos suspensos)

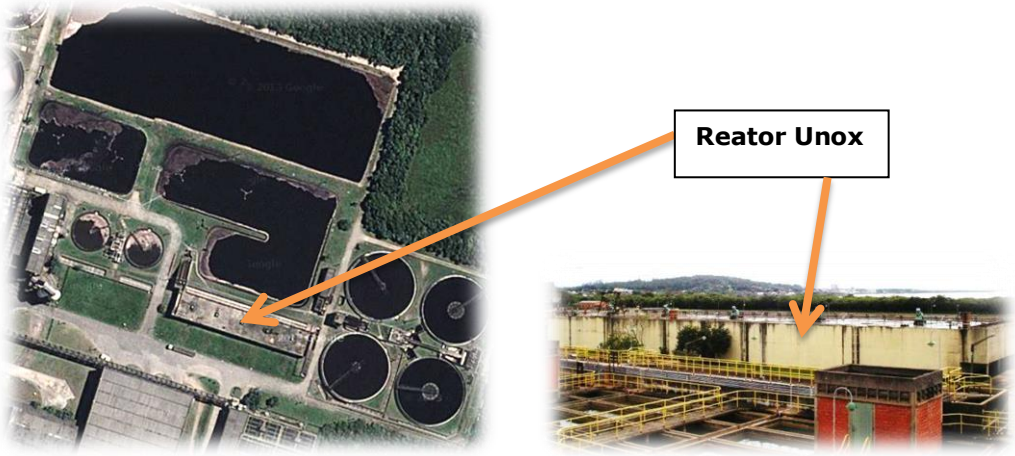
A relação F/M (como mais comumente é conhecida) nos dá uma indicação da quantidade de alimento que está sendo oferecido ou disponibilizado para uma determinada quantidade de massa de microrganismos no reator ou no seletor. Com a rápida biodegradação dessa massa alimentícia, formam-se novas células e corpos de microrganismos no reator. Com isso, a relação F/M diminui rapidamente no início do tratamento, seja no seletor, ou direto no reator (na falta de seletor), como é lógico de se esperar. Essa redução rápida pode variar entre 65 a 80%, principalmente em função da carga de oxigênio e da presença de material orgânico facilmente metabolizável na composição de F.

Dentre todos os equipamentos que constituem o sistema de lodos ativados, o mais crítico e vital é o reator biológico. É nele que acontecem as reações de formação de flocos que facilitarão (ou dificultarão) a remoção dos sólidos suspensos na fase seguinte, que é a clarificação do efluente.

Além disso, existe um conceito tecnológico fantástico nesse processo que permite que se atinjam eficiências de remoção de DBO tão altas como 90 a 95%. Esse conceito básico é que o tempo de retenção da biomassa microbiológica no reator deve ser bem maior do que o tempo de retenção/detenção hidráulica do efluente. Em outras palavras: o efluente (fase líquida) permanece muito menos tempo no interior do reator do que a biomassa microbiológica. Isso permite se reduzir o tamanho do reator a volumes bem menores e ainda assim se atingirem excepcionais resultados de eficiência na redução de DBO e DQO. Isso porque a população da microbiota é magnificada no interior do reator (e do seletor também).

A concentração de microrganismos no interior do reator é medida pela concentração dos SSV – Sólidos Suspensos Voláteis. Essa concentração costuma variar entre 2.500 a 5.000 ppm, conforme as características do sistema e do efluente sendo tratado. Por SSV entenda-se a fração orgânica dos SST – Sólidos Suspensos Totais que estão presentes ao longo do sistema biológico (desde o seletor, reator, clarificador e lodo extraído). Em geral, a proporção de SSV em relação aos SST varia entre 70 a 85%, o que significa que o lodo tem uma constituição em minerais que varia entre 15 a 30%. Esses minerais fazem parte da constituição dos corpos dos microrganismos (elementos minerais intrínsecos), mas também correspondem a sólidos minerais que ficam aderidos aos flocos (terra, areia, carbonatos de cálcio, caulim, etc.).

Quando existe falta de espaço na área industrial para a construção dos reatores convencionais, é possível se concentrar ainda mais o sistema através do uso de reatores fechados com injeção não de ar atmosférico, mas de oxigênio de alta pureza. Esses reatores trabalham com altas concentrações de SSV, altas taxas de adição de oxigênio, altas relações F/M e excelentes rendimentos em redução de DBO e DQO.



Reator biológico fechado do tipo Unox com injeção de oxigênio de alta pureza
CMPC – Celulose Riograndense
Fonte: Felipe de Carli (2013)

No interior do reator biológico, seja ele fechado ou aberto, com injeção de oxigênio ou de ar, ocorrem as seguintes situações características do processo:

- Captura física da matéria orgânica dissolvida e de partículas finas de origem mineral pelos flocos;
- Absorção do material poluente para o interior das células;
- Ataque enzimático extracelular ou intracelular de material poluente por parte dos microrganismos;
- Biossíntese de novas células de microrganismos;
- Utilização da maior parte da energia liberada pela queima dos alimentos por oxidação biológica (respiração aeróbica);
- Perda de gás carbônico para a atmosfera;
- Formação de alguma água pela respiração microbiológica – que se incorpora ao efluente sendo tratado;
- Formação de quantidades adicionais de corpos de microrganismos (lodo ou SSV), o que será percebido pelo aumento da concentração de SSV ao longo do reator;
- Reciclo de lodo de volta ao reator para controle da concentração de SSV;
- Extração de lodo excedente gerado pelo crescimento microbiológico.

O processo é contínuo, logo, a cada momento se está reciclando e se extraindo lodo do processo. Existem também sistemas que operam em bateladas, de forma intermitente, mas não são comuns no setor de celulose e papel.

Lodo extraído

O reciclo do lodo não é total. Se todo lodo decantado voltasse ao sistema, em pouquíssimo tempo ele entraria em colapso por excesso de sólidos suspensos e de população da microbiota. Faltaria alimento e o sistema se desequilibraria. Considera-se que populações excessivas da microbiota no reator começam a surgir com concentrações de SSV acima de 6.000 ppm. A competição por alimento se torna feroz e o canibalismo passa a acontecer de forma descontrolada. Ainda que se aumente a oferta de alimento para restaurar a relação F/M, definitivamente a população microbiológica exagerada interfere no desempenho do reator, pois haverá pouco espaço para a floculação adequada e muitos organismos competindo por quase tudo, principalmente oxigênio e nutrientes. Essa seria uma situação típica de se querer tirar mais produção do que o projeto prevê para o reator, pensando que bastaria se ajustar a relação F/M que as coisas funcionariam bem – grande engano! Há limitações – afinal estamos falando em enormes quantidades de seres vivos colocados em um único ambiente de maneira apertada (reator).

Também não é recomendável se trabalhar com baixas concentrações de SSV no reator (por exemplo: menor que 1.000 a 1.500 ppm). Nessas situações não se estaria tirando vantagem do conceito de concentração e bioaumento da microbiota no reator. A eficiência do tratamento seria também prejudicada.

Em sistemas de lodo ativado convencionais, a biomassa microbiológica permanece em média de 4 a 10 dias no interior do reator. Esse lodo, com essa idade é jovem e bastante ativo, conseguindo inclusive se auto-deteriorar bem nos processos de estabilização do lodo. É por essa razão que ao se retirar o lodo do clarificador secundário, divide-se exatamente nesse ponto o mesmo em duas porções: uma porção ativa e faminta, que volta ao reator – a outra excedente (ainda faminta) e que deverá ser estabilizada até se conseguir o máximo de redução de peso, para ser depois disposta em aterros, composteiras ou incineradores.

Seja um exemplo simples para fixar entendimentos:

Se na entrada do reator tivéssemos uma concentração de 4.000 ppm e na saída essa concentração tenha subido para 4.500, essa concentração adicional foi a quantidade de microrganismos que se formou. Na clarificação do efluente se decantam SSV e se extraem no decantador secundário uma quantidade maior do que esses 500 ppm. Caso se extraísse o equivalente a 1.000 ppm de SSV, dever-se-ia bipartir esse lodo em duas partes iguais – uma que voltaria ao reator para resgatar a quantidade original de 4.000 ppm no início do reator, e a outra, para ser enviada para estabilização e posterior descarte ou utilização em algum processo.

É óbvio que as coisas não são assim tão simples: há reciclos de água, retornos de DBO, mudanças na qualidade do lodo, balanços de massa a serem calculados para que as quantidades exatas e requeridas sejam bipartidas, etc.

O lodo que corresponderia à quantidade de biomassa que aumentou no reator deve ser sempre avaliado se ele deve ser descartado na íntegra ou se deve retornar em quantidades diferentes ao reator. O que faz com que o operador decida isso é a necessidade de ajuste da relação F/M. Se nada alterou em F, as coisas continuam da mesma forma em M, mas se F se modificou, o operador deve mexer na taxa de retorno de lodo para ajustar M de maneira a restaurar F/M. Nada complicado, não é mesmo? Qualquer bom operador *tira de letra*, mas os valores para suas decisões precisam ter credibilidade. Com adequado conhecimento do sistema e monitoramento efetivo, o operador pode maximizar os rendimentos de redução de DBO e DQO do reator e do sistema como um todo.

Os decantadores ou clarificadores secundários costumam ter dupla função:

- Remoção dos sólidos suspensos sedimentáveis do efluente para atendimento das especificações legais de qualidade do efluente hídrico;

- Estabilização parcial do lodo (continuidade de reações de degradação biológica no clarificador para redução da quantidade de lodo a extrair e para diminuição de alimento – DBO livre, nos flocos de lodo).

Para que o lodo continue a se degradar no clarificador, é preciso que se tenha uma concentração residual de oxigênio no efluente e na manta de lodo no fundo do clarificador. Por essa razão, o efluente deve sair do reator ainda rico em oxigênio dissolvido (pelo menos 2 ppm) para que, no interior do clarificador, esse O_2 residual seja suficiente para promover a continuidade das reações biológicas de estabilização do lodo. Os valores usuais de oxigênio no fundo do reator variam entre 0,3 a 0,5 ppm, o que já é uma boa indicação de resultados favoráveis nesse papel de estabilização de lodo.

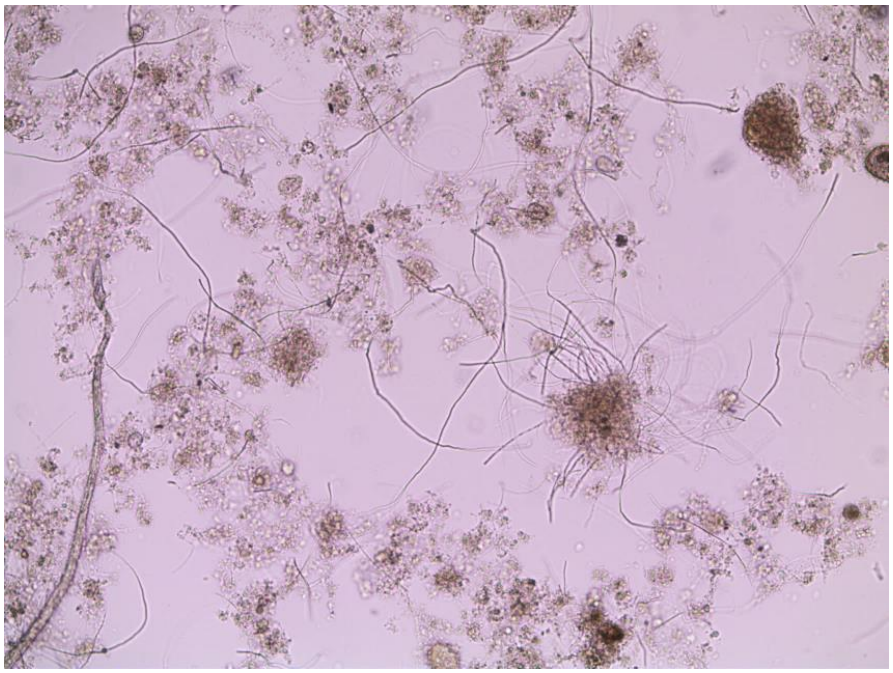
Existem variações no conceito de estabilização de lodo para redução em sua geração mássica seca. Essa estabilização também reduz as concentrações de DBO e DQO ainda presentes no efluente dentro do clarificador. Logo, o clarificador também tem efeito importante nos rendimentos e no desempenho do sistema biológico como um todo.

Uma das tecnologias mais interessantes (e bastante comum no setor de celulose e papel) para estabilização de lodos é o sistema de lodos ativados com aeração prolongada ou estendida. Esse sistema de aeração prolongada trabalha com reatores de maiores dimensões para garantir uma idade de lodo bem superior às que se utilizam nos sistemas convencionais. Como os reatores são enormes, eles podem ser divididos em dois, seja trabalhando em série ou em paralelo.

A aeração prolongada se baseia no princípio de que a estabilização do lodo deva ocorrer em grande parte dentro do próprio reator biológico e apenas complementada no clarificador secundário. Ela não necessita de sistemas complementares de estabilização do logo, como câmaras, tinas ou tanques estabilizadores. A meta é que no final do reator biológico a relação F/M esteja baixíssima, com os microrganismos mortos de fome e se canibalizando por falta de alimento. Para que isso aconteça, costuma-se elevar a idade do lodo para cerca de 20 a 40 dias. Frente aos grandes volumes de reatores,

a quantidade de biomassa microbiológica (M) é enorme, o que significa que as relações F/M são bem mais baixas do que nos sistemas tradicionais, mesmo na entrada dos reatores ou seletores. Entenda-se o seguinte: para mesma alimentação de F, um sistema por aeração prolongada possui uma quantidade muito maior de M no reator (pelo volume do reator e não pela concentração de SSV no seu interior). Dai a razão de que as relações F/M ao longo de todo o sistema sejam menores do que nos sistemas convencionais. Além disso, com tempos mais longos de aeração, a comida praticamente se acaba no final do reator.

Muitas vezes os técnicos se surpreendem com as relações F/M muito baixas na saída do reator e se preocupam com a formação de bactérias filamentosas, causadoras de intumescimento do lodo ("bulking") no clarificador secundário. Isso é muito apropriado que se monitore, pois as bactérias filamentosas se desenvolvem bem mesmo em ambientes com pouquíssimo alimento. Isso acontece pela capacidade que elas possuem para absorver alimentos através de seu longo comprimento corpóreo, o que significa muito maior área de captação de alimentos dissolvidos do que os outros tipos de bactéria.



Bactérias filamentosas em atividade microbiológica exagerada

Assim sendo, independentemente do acompanhamento físico-químico que todos operadores precisam realizar, eles devem também estar atentos às características microbiológicas do lodo e do floco de lodo, como veremos mais adiante.

A aeração prolongada tem vantagens importantes, quais sejam: a maior estabilização do lodo e as maiores chances de se atingirem rendimentos excepcionais na redução de DBO (92 a 95%) e de DQO (85 a 88%). Como desvantagens da mesma, podem ser citadas duas: maiores custos de investimento em instalações e o maior consumo de oxigênio. Por outro lado, elimina-se a necessidade de instalações complementares para estabilização do lodo.

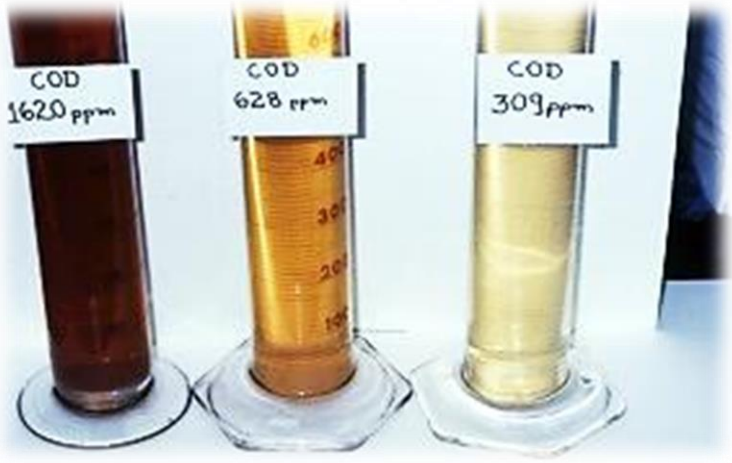
Nesse sistema, a geração de lodo para descarte costuma estar na faixa de 0,3 toneladas de lodo seco por tonelada de DBO removido, ou de 0,15 toneladas de lodo seco por tonelada de DQO removido.

Outra vantagem da aeração prolongada é que o sistema é mais tolerante a variações de cargas e também a compostos tóxicos. Isso em função do maior tempo no reator, o que permite que as populações microbiológicas se ajustem e se adequem às mudanças de ambiente.

Em termos microbiológicos, o risco maior desse sistema é a sensibilidade que ele demonstra ter a alterações indesejáveis na constituição de sua microbiologia, com a morte de organismos favoráveis por falta de alimento (baixa F/M) e crescimento na população de bactérias filamentosas, pela mesma razão. Dessa forma, o monitoramento microbiológico deve ser obrigatório nesses tipos de estações de tratamento biológico por aeração prolongada.

==========

EFICIÊNCIAS E DESEMPENHOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS



Existe uma grande diversidade de modelos de estações de tratamento de efluentes a nível secundário no setor brasileiro de produção de celulose e papel. De forma maciça, as fábricas que produzem celulose branqueada de eucalipto possuem tratamento secundário biológico, a maioria com sistemas de lodo ativado. Esses sistemas costumam ser do tipo convencional (média idade de lodo) ou por aeração prolongada (alta idade de lodo). Também é comum a variação em desenho e projeto das plantas: tanque aerador e clarificador - únicos; dois reatores em série; reatores em paralelo; clarificadores em paralelo; adição superficial de ar; injeção difusa de ar ou oxigênio de alta pureza; etc.; etc. Os desenhos em paralelo objetivam dar a oportunidade de manter a planta operando, mesmo com menor carga, quando ocorrer algum evento de manutenção de equipamentos do processo (ou no reator biológico ou no clarificador).

Cada instalação em geral é projetada levando em conta os conceitos do fornecedor da tecnologia e dos equipamentos. Muitas dessas instalações são antigas, com mais de 30 anos de operação; enquanto outras são recentíssimas, no estado-da-arte para esse tipo de processo industrial. Em realidade, os conceitos tecnológicos para esse tipo de processamento não são tão inovadores. Uma estação estado-da-arte não difere muito de uma instalação mais antiga, com exceção de alguns aperfeiçoamentos em agitadores, injetores ou aspersores, presença de zona anóxica para remoção de cloratos; introdução de seletor para rápida redução da relação F/M com alta dosagem de oxigênio, etc.

Entretanto, diversas dessas instalações estão sobrecarregadas e operando acima das capacidades de projeto frente aos constantes

aumentos de capacidade que a indústria de celulose sempre persegue. Esses aumentos de capacidade na produção de celulose, mesmo acompanhadas de modernizações das fábricas, invariavelmente trazem associados aumentos nas cargas diárias de DBO e DQO a tratar na ETE – Estação de Tratamento de Efluentes. Esses aumentos de capacidade costumam surgir sem novos e significativos investimentos na ETE, com mesmas dimensões de reator biológico e clarificadores. Quando muito, surgem alguns investimentos em novo clarificador ou filtros complementares para remoção de sólidos suspensos que possam ser arrastados com o efluente saindo da clarificação.

Por essa diversidade de situações, os desempenhos e eficiências dessas instalações são igualmente diversos. Enquanto algumas instalações modernas têm mostrado excepcionais eficiências, com redução da DBO em 93 – 95% e de DQO em 85 – 88%; a maior parte das instalações trabalha abaixo desses valores:

- Reduções em DBO entre 85 a 90%;
- Reduções em DQO entre 65 a 80%.

Outro indicador importante desse tipo de tratamento é a quantidade de lodo seco equivalente sendo descartado como resíduo sólido:

- 0,15 a 0,30 toneladas de lodo seco por tonelada de DQO removido;

- 0,25 a 0,50 toneladas de lodo seco por tonelada de DBO removida.

Esses números variam muito em função das cargas de DBO e DQO oferecidas como alimento; da concepção do tratamento e da forma como ele é operado. Quando referenciada base tonelada seca ao ar de celulose produzida, a geração de lodo pelo sistema biológico costuma variar entre 3,5 a 10 kg lodo/tonelada polpa.

Todas as instalações procuram máximas reduções de DBO, DQO e eventualmente AOX, além do enquadramento legal do efluente final, inclusive em sólidos suspensos. Curiosamente, muitos sólidos suspensos são criados pelo sistema biológico e precisam de mecanismos eficientes para sua remoção. Caso contrário, o efluente passará a não atender aos limites restritos de sólidos sedimentáveis em Cone de Imhoff e de sólidos suspensos totais dos requisitos legais.

A legislação brasileira é muito rígida em todos esses parâmetros. Qualquer problema na eficiência e nos rendimentos do tratamento de efluentes pode resultar em perdas de qualidade dos efluentes. Isso acarretará multas, termos de ajuste de conduta, paralisações e até mesmo suspensão temporária da licença ambiental da fábrica. De forma mais ampla, as especificações colocadas para as fábricas podem variar conforme a localização, fluxo e comprometimento do corpo receptor; porém geralmente são bastante restritivas, pois os órgãos de controle não querem deixar espaços para problemas com comprometimentos ambientais, mesmo em corpos receptores de grandes vazões e localizados em regiões de baixo grau de utilização da água do rio. Pode-se dizer com segurança, que a maioria das empresas do setor tem conseguido sucesso em seu papel de depuração de seus efluentes, graças aos tratamentos biológicos instalados. Há casos esporádicos de outros tipos de sistemas de tratamento, como tratamento a nível terciário com clarifloculação com sulfato de alumínio.

Os resultados para efluentes tratados em fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto variam no Brasil dentro das seguintes faixas de valores:

DQO: 4 a 15 kg/adt polpa (100 a 350 ppm de concentração)

DBO: 0,2 a 1,2 kg/adt polpa (7 a 35 ppm de concentração)

SST: 0,2 a 1,2 kg/adt polpa (6 a 35 ppm de concentração)

Sólidos Sedimentáveis: menor que 1 mg/L em Cone de Imhoff

N orgânico total: 0,1 a 0,25 kg/adt polpa

P total: 0,01 a 0,03 kg/adt polpa

Vazão específica de efluente: 20 a 40 m^3/adt polpa

pH efluente final: 5 a 7

Oxigênio dissolvido efluente final: 2 a 4 ppm de concentração

Condutividade efluente final: 2.000 a 3.000 µS/cm

Apesar do pH objetivado no reator biológico ser para valores entre 6,5 a 8, o pH do efluente final sempre cai um pouco. Isso é favorável em termos de aspecto do efluente. Quanto mais baixo o pH, menor é a cor aparente do efluente, pois os compostos cromóforos dos efluentes do setor são sensíveis a variações do pH. No tratamento biológico ocorre altíssima geração de gás carbônio pela oxidação biológica dos poluentes orgânicos. Esse gás carbônico em presença de água se converte em um ácido fraco (ácido carbônico) e ajuda no ligeiro abaixamento do pH no efluente final.

Estima-se que a geração de CO_2 no reator biológico varia entre 0,9 a 1,1 kg de gás carbônico por tonelada de DQO removida.

A biotratabilidade nessas estações é também função da qualidade do efluente bruto e do tipo de sistema de recuperação de perdas instalado para conter os derrames, que poderiam se converter em cargas pontuais com extrema malvadeza para a colônia de microrganismos.

As fábricas de celulose não-branqueada geram efluentes de mais alta biodegradabilidade, por conterem pequenas concentrações de substâncias de DQO recalcitrante (muitas geradas no branqueamento da celulose).

Uma das formas mais simples de se estimar a biodegradabilidade de um efluente é através da relação DBO/DQO. Fábricas de celulose não-branqueada mostram essa relação próxima a 0,7, enquanto fábricas de celulose branqueada a possuem variando entre 0,4 a 0,55, mais usualmente 0,5. Nesse último caso, significaria que um efluente com concentração em DQO de 1.400 ppm teria uma concentração em DBO de 700 ppm.

Complementarmente, para eficiências de remoção de DQO em fábricas de celulose branqueada na faixa entre 65 a 80% (usuais), pode-se chegar facilmente a cerca de 90% em fábricas de celulose não-branqueada.

Acredito que eu preciso deixar muito claro a vocês que essas eficiências de reatores biológicos e de tratamentos para remoção de DBO e DQO devem ser todas medidas em efluentes previamente filtrados, para extrair o efeito de fibras, finos e fibrilas e de outros sólidos orgânicos que são medidos como DQO. O tratamento por oxidação biológica não tem capacidade de remover fibras, finos e fibrilas. Esses materiais não são alimentos viáveis para a microbiota, que deseja se alimentar apenas de substâncias dissolvidas. Por isso, quando não se filtra o efluente, acabam-se obtendo valores irreais para eficiência de remoção de DQO e de relações DBO/DQO. Fica difícil entender os rendimentos do tratamento biológico, já que os teores de fibras em efluentes costumam variar bastante em fábricas de celulose e papel. Trata-se de uma doença crônica que o setor ainda não aprendeu a tratar.

Devemos ainda entender que a eficiência de um tratamento biológico de lodo ativado se baseia na quantidade e qualidade do alimento dissolvido no efluente e que é oferecido como alimento à microbiota. Também depende da vitalidade e diversidade desses microrganismos e da quantidade de nutrientes e oxigênio que o operador oferecer a eles. Em condições favoráveis, os microrganismos crescerão e se multiplicarão, consumindo o alimento poluente – com isso, nos presenteiam com ótimos rendimentos. A alta atividade biológica pode ser avaliada pelas populações presentes de diferentes tipos de microrganismos, por sua mobilidade, seu crescimento e formação de flocos e sua reprodução para formar populações ainda maiores.

Quanto mais adequado for o alimento em termos de uniformidade, ausência de toxicidade e facilidade de biodegradabilidade, maiores os rendimentos em redução de carga poluente que se conseguirão. É por essa razão que observamos níveis tão diferentes de tratabilidade e de eficiência de estações de tratamento. Talvez muitos operadores se esqueçam de que os microrganismos são seres vivos demandantes de condições boas de crescimento e operam as estações como se estivessem controlando apenas fluxos e cargas.

O tratamento biológico é algo vivo e dinâmico, que exige respeito, compromissos, conhecimento técnico e científico e monitoramento constante. Entretanto, mesmo que se deseje ou se busque ter isso, algumas empresas não conseguem ter uma gestão eficiente da estação por terem limitações tecnológicas para controlar as ofertas de alimento em termos de quantidade, qualidade e regularidade do mesmo.

Por outro lado, conheço empresas que possuem excelentes controles setoriais, avaliações frequentes de toxicidade e de

monitoramento diário da microbiota, e que buscam a otimização contínua em seus processos e na microbiota. Essas empresas conseguem níveis excepcionais de redução da DBO dissolvida do efluente – valores de 95% para um tratamento a nível secundário podem ser atingidos nessas situações. Pergunto então – porque não operar assim e se dispor de tecnologias e de gestão que permitam a um simples tratamento a nível secundário atingir as mais rígidas especificações para qualidade de efluentes tratados? Para que instalar um tratamento agressivo terciário se um tratamento biológico pode ser suficiente? Falaremos mais sobre isso mais adiante em outra seção desse capítulo.

Enfim amigos, existem casos e casos, situações e situações. Existem níveis diversos de tecnologias e de conhecimentos tecnológicos e biotecnológicos. Também existem estações de tratamento de efluentes com idades tecnológicas e níveis de utilização da capacidade de projeto muito variados. Por isso mesmo, a diversidade de desempenhos, resultados e até mesmo de humor em relação às estações de tratamento de efluentes.

Em tempo, não basta se ter uma estação bem cuidado em sua aparência (belos jardins), bonita e moderna. Se ela for mal operada, os seus desempenhos serão pobres ou medíocres - até mesmo piores do que os obtidos em estações de idade cronológica bem mais adiantadas.

==========

O FLOCO BIOLÓGICO COMO FATOR CHAVE DE SUCESSO NOS TRATAMENTOS POR LODO ATIVADO

Existem dois objetivos claros na operação do reator biológico. São eles:

- Formação de um floco biológico de excelente qualidade para se maximizar a atividade biológica e se poder remover depois o lodo como sólido suspenso decantável no clarificador secundário;

- Alto nível de biodegradabilidade da matéria orgânica poluente oferecida como alimento para a microbiota.

Os flocos são agregados biológicos mantidos unidos por uma matriz gelatinosa de substâncias polissacarídicas e poliméricas extracelulares e por um esqueleto de bactérias filamentosas. A matriz gelatinosa é constituída de proteínas, açúcares e ácidos graxos. Consiste de secreções das bactérias formadoras de flocos e de conteúdos citoplasmáticos de organismos que morrem e que têm as suas membranas destruídas por predadores (protozoários, metazoários, etc.).

Esse muco permite que os organismos estabeleçam consórcios e parcerias biológicas entre eles, através de uma espécie de condomínio biotecnológico vivo, ativo e dinâmico. A composição do floco não é estática – ela muda conforme mudam o alimento e as condições do meio. Conforme a alimento muda e a relação F/M também, as populações se alteram e o floco muda de formato, densidade, aparência, aspecto, cor, etc.

Os flocos são também muito sensíveis à excessiva turbulência causada pelos agitadores e aeradores. Por exemplo, muitas vezes criam-se flocos magníficos no meio do reator, mas eles acabam sendo quebrados pela excessiva turbulência no término ou na saída do reator. Há muito interesse em se terem níveis elevados de oxigênio dissolvido no efluente que deixa o reator (entre 1,5 a 2 ppm) para que esse oxigênio mantenha o lodo vivo e ativo no clarificador secundário, como já vimos. Com isso, ocorrerão reações de estabilização e perda de peso seco de lodo no clarificador.

Entretanto, para se obter esses níveis de oxigênio residual no efluente saindo do reator se projetam e se operam duas ingenuidades tecnológicas, a saber:

- Aeradores potentes e com altíssimo grau de turbilhonamento no final do reator;

- Saída do efluente do reator em uma espécie de cachoeira, para que ele possa capturar oxigênio do ar.

Essas duas tolices tecnológicas acabam quebrando os duramente formados flocos, deixando-os menores, dispersos e de mais difícil decantabilidade no clarificador secundário. Muito mais lógico seria se ter um injetor de oxigênio molecular de mais alta pureza para inserir oxigênio nos níveis adequados e sem danos aos flocos. Todas as fábricas de celulose branqueada têm produção local de oxigênio a 90-95% de pureza para operarem a deslignificação com oxigênio. Logo, criar um uso adicional para esse oxigênio não seria difícil de ser projetado – nem custoso demais – pois os ganhos em decantabilidade do efluente permitiriam economias em consumo de polímeros no clarificador.

Cachoeira "quebra-flocos"

A teoria clássica para explicar a formação de flocos biológicos no reator sugeria que a bactéria *Zooglea ramigera* (http://biowiki.kenyon.edu/index.php/Zoogloea_ramigera) seria a formadora da matriz gelatinosa que favorece a agregação do floco. Essa bactéria existe em quase todos os sistemas de lodos ativados e é reconhecidamente uma espécie formadora de exsudados gelatinosos. Quando ela existe em populações excessivas, a formação dessa matriz gelatinosa é tão intensa que o floco não se adensa, fica volumoso e viscoso. Esse floco altamente gelatinoso não possui boa drenabilidade e acaba flotando no clarificador, dando origem ao que se chama de "bulking zoogleal" ou "intumescimento viscoso".

Bulking viscoso e espumoso de *Zooglea ramigera*

Recentemente, a teoria de formação do floco foi drasticamente modificada já que se notou que os flocos se formavam mesmo na ausência da matriz gelatinosa criada pela bactéria *Zooglea ramigera*. Os pesquisadores concluíram então que a união dos organismos no floco ocorreria pelo equilíbrio entre dois tipos de forças:

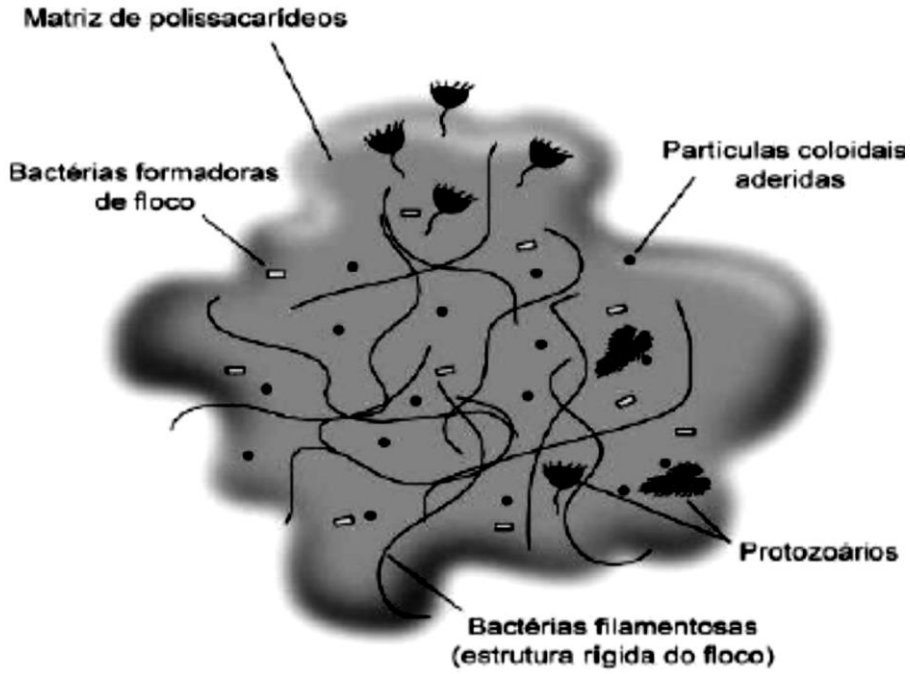
- Forças de atração ou forças de Van der Walls;
- Forças de repulsão medidas pelo potencial zeta.

Dessa forma, as bactérias atuariam à semelhança de um coloide, podendo se atraírem ou se repelirem entre si.

Também se notou que a intensa locomoção e mobilidade das bactérias no início da formação do floco ajuda a formação dessas forças eletrostáticas. A baixa mobilidade ajuda a que o floco se agregue e se condense, mas a eletricidade estática negativa que se desenvolve por muita locomoção ajuda a que se criem forças de repulsão.

Portanto, quando a relação F/M é ainda alta, as bactérias se movimentam bastante em busca de comida e nas suas atividades de procriação. Por isso, as forças negativas geradas impedem que o floco se forme em seletores e no início dos reatores biológicos. Conforme cai a relação F/M, as bactérias vão ficando mais paradas, com pequena mobilidade - algumas chegam mesmo a morrer, liberando seus conteúdos citoplasmáticos. Com isso, as forças de atração passam a superar as de repulsão e o floco se adensa e se concentra.

Para que o floco consiga crescer bem, ele precisa de uma macroestrutura ou esqueleto. Seria algo como estacas, colocadas para se criar uma estrutura que abrigue a massa gelatinosa e as bactérias e os outros organismos da microbiota. As bactérias filamentosas fazem esse papel no interior do floco, colaborando para atuarem como estacas ou ossos do esqueleto do floco.



Floco biológico
Fonte do desenho: Guedes (2013)

Com base nessas discussões didáticas e preliminares, pode-se dizer que o floco biológico se forma como resultado de:

- Forças de atração (forças de Van der Walls);
- Forças de repulsão (potencial zeta);
- Liberação de compostos aglutinantes (gelatinas e polissacarídeos);
- Mobilidade das bactérias;
- Agitações suaves ou drásticas fornecidas pelos equipamentos da ETE.

Um floco biológico bem formado possui em seu interior:

- Ω Bactérias filamentosas responsáveis pelo esqueleto do floco;
- Ω Bactérias formadoras de substâncias gelatinosas e polissacarídicas;

- Ω Bactérias que ajudam na formação de floco pela sua baixa mobilidade e criação de forças de atração;
- Ω Organismos mortos (cadáveres de microrganismos);
- Ω Protozoários que se alimentam de bactérias;
- Ω Micrometazoários que se alimentam de bactérias e de protozoários;
- Ω Fungos e algas;
- Ω Partículas minerais oclusas (areia fina, cargas minerais da fabricação do papel, compostos inorgânicos precipitados, etc.);
- Ω Substâncias poliméricas extracelulares e gelatinosas.

Os flocos precisam ter tamanho adequado (predominância de grandes e médios), serem fortes, resistentes, consistentes, vivos e densos. Dessa forma, eles abrigam bem o consórcio de microrganismos e decantam bem depois no clarificador secundário. O importante é que eles exerçam bem o seu papel no reator e no clarificador e não atrapalhem depois, seguindo como sólidos suspensos no efluente final.

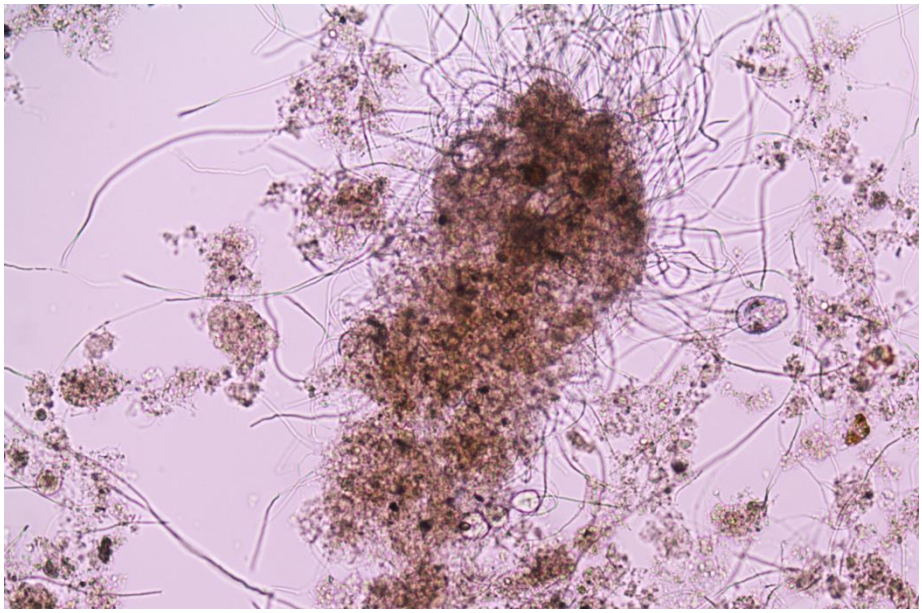
As avaliações de flocos devem ser parte do monitoramento de desempenho do sistema biológico de lodos ativados. As amostras devem ser colhidas no início, meio e final do reator e na entrada do clarificador secundário. Não basta se colher apenas na saída do reator – não há garantias de que chegará dessa maneira no clarificador, *entendem a minha preocupação*?

Sabemos que no início do reator ou no seletor, os flocos ainda não estão bem formados – só existirá uma tendência a que eles se agreguem quando a locomoção e a mobilidade diminuírem. Por isso, há muito interesse de que a microbiologia dessa parte do reator seja avaliada, em especial para se conhecer como está a população de bactérias filamentosas.

As bactérias filamentosas são muito desejadas formando o esqueleto ou macroestrutura do floco. Entretanto, quando elas se desenvolvem demais e se projetam para fora do floco na forma de uma densa cabeleira, elas se tornam sério problema operacional. Essa estrutura deixa o floco leve e intumescido, impedindo a sua adequada sedimentação no clarificador secundário. Com isso, os flocos flutuam e dão origem a um dos piores pesadelos do sistema de

lodos ativados, que é o conhecido "bulking filamentoso" ou "intumescimento filamentoso do lodo".

Com a baixa qualidade na decantação, ocorre muito arraste de lodo para o efluente tratado, que acaba fora dos parâmetros legislados para sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, cor aparente, turbidez e inclusive DQO e DBO – uma situação de calamidade nas fábricas que vivenciam esse problema caótico.



Floco intumescido pela cabeleira filamentosa

As dimensões e as características dos flocos são muito importantes para todo o desempenho da ETE e não apenas para a eficiência de redução de DBO e DQO no reator biológico. De uma maneira geral, os flocos grandes possuem mais de 500 µm de diâmetro e conseguem ser visíveis a olho nu. Os flocos médios possuem entre 150 a 500 µm e os pequenos possuem menos de 150 µm.

Objetivam-se flocos grandes ou médios e com formatos compactos e esféricos. Esses flocos mostram excelente decantabilidade não causam problemas no clarificador secundário – pelo contrário – decantam bem e rapidamente, deixando um efluente límpido e claro.

Lodos saudáveis apresentam:

- 30 a 40% de flocos grandes;

- ♣ 25 a 35% de flocos médios;
- ♣ 20% de flocos pequenos;
- ♣ 10% de ”pin flocs”.

Os “pin flocs” são flocos pequeníssimos, praticamente sem esqueleto filamentoso em sua constituição. São flocos fracos, pouco densos e que dão maior turbidez no efluente tratado. Como decantam pobremente, também prejudicam os níveis de sólidos sedimentáveis e suspensos no efluente final, o qual não poderá ser lançado ao corpo receptor, a não ser que se queira arriscar a se levarem multas e termos de ajuste de conduta por desobediência legal.

O tamanho dos flocos está muito associado à atividade microbiológica e à relação F/M. Para altas relações F/M, os flocos acabam não se formando muito bem pela alta mobilidade e atividade intensa de locomoção da microbiota. Quando F/M se reduz a 50% ou menos da inicialmente adicionada no reator, o floco já começa a se agregar e adensar.

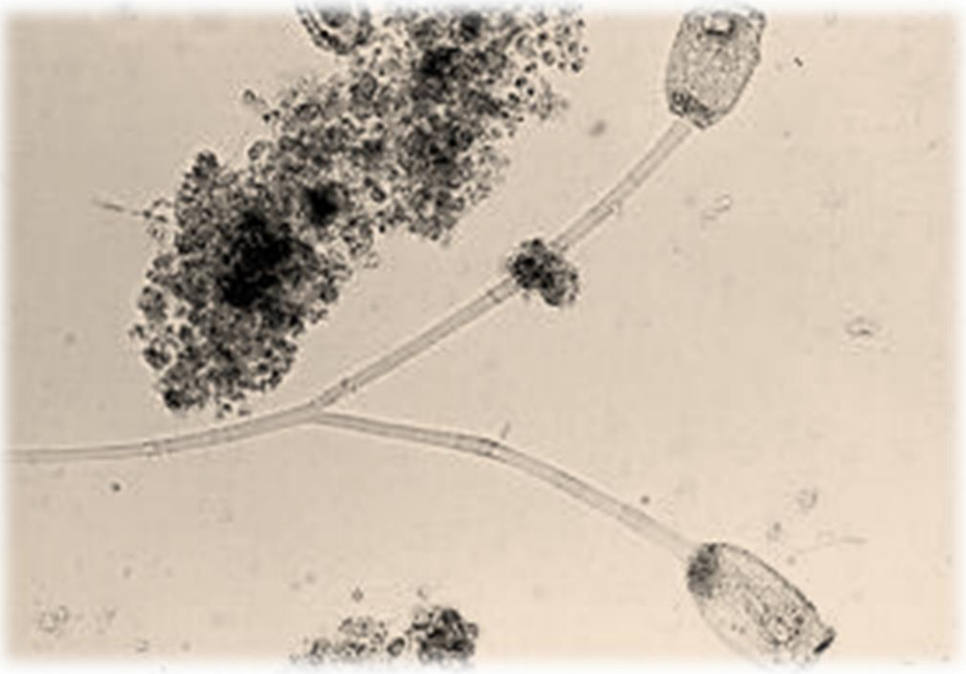
Por outro lado, quando a relação F/M é muito baixa, falta comida no reator e os microrganismos começam a morrer de fome. Os flocos podem então se desagregar por morte de células e pela baixa atividade biológica. Com isso, aumenta exageradamente a proporção de bactérias filamentosas e de “pin flocs” no lodo.

Amigos, percebam mais uma vez que o tratamento biológico está muito longe de ser apenas considerado como equipamentos a operar. Ele é um sistema vivo, ativo, dinâmico e altamente dependente de fatores que podem ser modificados não apenas pelos operadores da ETE, mas também por operadores das áreas geradoras de efluentes setoriais.

Por isso mesmo, a minha insistência em pregar isso de forma até mesmo repetitiva – trata-se não de uma lavagem cerebral – mas de uma insistência positiva para conscientização de operadores e de gestores de nossas fábricas.

==========

MICROBIOLOGIA DO LODO ATIVADO



A avaliação microbiológica do lodo consiste não apenas em uma ferramenta auxiliar para o controle da operação do sistema de lodo ativado, mas sim em um procedimento necessário e vital para que as operações não apenas sejam controladas, como também projetadas quanto a níveis futuros de desempenho. Isso porque a avaliação da microbiologia do lodo não apenas revela uma fotografia diagnóstica do momento da avaliação, como ela também permite antever problemas futuros – e, com isso, permitir que se atue preventivamente com medidas antecipadas no sistema de tratamento.

Do ponto de vista operacional, a caracterização microbiológica do lodo colabora para o entendimento das condições operacionais, quanto a dosagens e aplicações corretas de nutrientes e oxigênio, níveis de toxicidade, condutividade, etc. Do ponto de vista preditivo, a avaliação sequencial da microbiota, em sua população e diversidade e tipos de organismos, ajuda a indicar que mudanças estão ocorrendo no tratamento biológico e suas possíveis causas. Assim, permite ajustar as condições para reabilitação das condições de equilíbrio, em caso de se detectarem desvios.

Isso tudo se deve ao fato de que a natureza microbiológica dos lodos está associada a:

- Relação F/M;
- Idade do lodo (tempo de residência da biomassa biológica no reator);
- Temperatura do efluente;
- Dosagem de nutrientes;
- Quantidades e tipos de substâncias orgânicas presentes no alimento (DBO facilmente metabolizável; DQO recalcitrante, compostos indigestos, etc.);
- Presença de compostos tóxicos ou de difícil metabolização, o que exige uma varredura nos diferentes efluentes setoriais para correções dessas anomalias;
- Nível de septicidade (AGV's – Ácidos Graxos Voláteis e sulfetos);
- Níveis de saprobicidade (canibalismo e ingestão de matéria morta por falta de alimento);
- Excessiva presença de substâncias poliméricas extracelulares;
- Ecotoxicidade do próprio efluente tratado (o que mostra que algo de grave estaria acontecendo em todo o sistema biológico, que não teve, por si só, condições de resolver esse nível de toxicidade).

As avaliações microbiológicas de lodo e de flocos começaram a serem feitas timidamente no Brasil por volta do início dos anos 80's, com trabalhos realizados pela nossa grande amiga, a competente bióloga Vera Regina Bottini Gallardo, no Laboratório de Microbiologia e Ecotoxicidade da antiga Riocell, em Guaíba, RS. A partir dos anos 1990's, esse tipo de avaliação ganhou destaque nacional para, no início dos anos 2000's, consolidar-se como uma excepcional ferramenta de controle, otimização e previsão de desempenho operacional das estações de tratamento biológico de efluentes. Até porque ficou mais do que evidenciado para operadores, gestores e técnicos das fábricas, que a eficiência do tratamento biológico está fortemente relacionada à vitalidade, atividade e diversidade da microbiota envolvida e presente no sistema biológico.

Por todos esses predicados, a temática microbiologia de lodos ativados tem sido muito estudada e seus benefícios reconhecidos no setor. Existem muitos autores talentosos que são frequentemente citados na literatura e outros que disponibilizam grandes quantidades de informações e de conhecimentos biotecnológicos sobre esse tema. Sugiro que procurem artigos, palestras e websites dos seguintes e renomados autores: Rosa-Lee Cook; Tatiane Heid Furley; Ana Luiza Fávaro Piedade; Steve Leach; Tony Glymph; Michael Richard; Rick Marshall e a imperdível seção "Bug of the Month" da empresa Environmental Leverage. Além dos textos muito qualificados, é possível se encontrar guias técnicos para identificação de componentes da microbiota bem como sugestões para resolução de problemas associados à microbiologia ("troubleshooting"). Coisas maravilhosas da era da Internet, ao custo de um piscar de olhos apenas.

Mas afinal, do que consiste em última análise, a avaliação microbiológica do sistema de lodos ativados, mais conhecida como microbiologia do lodo?

Ela pode ser dividida em três tipos principais e vitais de avaliações:

- Diagnóstico da qualidade do floco;
- Diversidade, composição e frequências populacionais da microbiota;
- Choques causadores de mortalidade na microbiota.

Apesar de que cada um desses temas forneça indicações do que se deva fazer nas operações, sempre fica para os operadores a pergunta: onde avaliar essas características para poder com seus resultados tomar ações e elaborar estratégias por tomada de decisão?

Geralmente, os operadores de estações de tratamento de efluentes caminham sempre com o passo atrás em relação às avaliações microbiológicas. Quando muito, algumas empresas se apoiam em avaliações de consultorias especializadas que enviam seus resultados dias depois da coleta de amostras – muitas vezes o "timing" se perdeu e quando os resultados chegam, o problema foi esquecido – ou os operadores nem lembram mais onde as amostras foram retiradas e quais eram as condições operacionais vitais no momento em que tudo aconteceu!

Caso queiram utilizar essa ferramenta com sucesso, é essencial que os operadores tenham instrumentação (microscópios) e

treinamento qualificado para avaliações no exato momento em que precisam fazer as avaliações (em condições de excepcionalidade), ou que as façam na rotina para estabelecer a chamada previsão da operação futura com base nas mudanças na microbiota. Eu particularmente acredito que amostras são importantes ao longo de todo o processo biológico e não apenas na saída do tanque de aeração ou reator.

Vale a pena avaliar para monitoramento:

- Lodo de retorno;
- Entrada do clarificador secundário;
- Saída do reator biológico;
- Entrada do seletor ou do reator;
- Saída do seletor;
- Meio do reator biológico;
- Outros pontos onde o operador tiver dúvidas – exemplo: efluente da lagoa de emergência, etc.

Paralelamente a essas amostragens e avaliações, o operador precisa investir em entender as chamadas causas raízes para os problemas que tiver. Isso ele pode fazer pela avaliação microbiológica, comparando os seus resultados com condições operacionais vitais, tais como:

- Relação F/M;
- Níveis de oxigênio dissolvido;
- Concentrações e residuais de nitrogênio e fósforo;
- Condutividade;
- pH;
- Temperatura;

- Toxicidade de efluentes; etc.

Com esse ferramental às mãos, a avaliação microbiológica deixa de ser apenas uma análise contratada junto a terceiros para se tornar um mais do que importante indicador de controle de qualidade e da vitalidade e saúde do sistema de tratamento biológico de efluentes.

♦ Diagnóstico da qualidade dos flocos

Já vimos que o floco é o fator-chave de sucesso para o tratamento biológico. Se não houver flocos de boa qualidade, correremos sérios riscos de baixo desempenho na redução da DBO e DQO, como também em qualidades inadequadas no efluente tratado em termos de turbidez, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, cor aparente, etc.

O diagnóstico dos flocos implica em se avaliar flocos colhidos diretamente do sistema em termos de:

→ Formato e dimensões dos flocos;

→ Cor dos flocos;

→ Índice Volumétrico de Lodo;

→ Presença ou abundância de massa gelatinosa viscosa (lipopolissacarídeos, proteínas, etc.). Um excesso de massa gelatinosa extracelular é indicação de alterações com a bactéria *Zooglea ramigera*, como já visto.

Quando o floco se apresentar denso, grande, firme e compacto e tiver a cor marrom, teremos claras evidências de que a microbiologia do lodo está saudável. Flocos saudáveis se desempenham bem ao longo do tratamento de efluentes e permitem economias em aditivos na ETE, como é o caso de polímeros, antiespumantes, floculantes, etc.

Flocos pequenos e dispersos são indicadores de má distribuição alimentícia no reator, de toxicidade no efluente sendo

tratado ou de ausência de macroestrutura (deficiência de bactérias filamentosas no esqueleto do floco).

Flocos claros demais (até transparentes ao microscópio) são indicadores de falta de alimento ou de nutrientes. A transparência do floco se deve à excessiva produção de substância gelatinosa pelos organismos famintos, que exsudam secreções para tentar agarrar alimentos do meio. Fenômeno similar ocorre quando há excesso de substancias prontamente metabolizáveis no alimento que entra no reator: a *Zooglea* gosta muito desse tipo de alimento e se desenvolve bastante, pois se motiva a se reproduzir. Quando esse tipo de alimenta acabar, ela notará a falta e começará a exsudar substâncias extracelulares para agarrar os resquícios desse tipo de alimento que ainda porventura estiver presente nessa região do reator.

Flocos escuros demais são indicadores de flocos velhos ou de lodo séptico (podre), por falta de oxigenação no meio, o que acaba levando a essa situação.

Flocos mostrando uma cabeleira de bactérias filamentosas agarradas em seu entorno são claras evidências de desequilíbrios populacionais e de formação de "bulking" intumescido, o que significará noites mal dormidas ou de muitos pesadelos para os operadores, técnicos e gestores da fábrica.

Além das determinações microbiológicas do lodo, que indicam potenciais de problemas ou de vida saudável para a estação, todo operador de estações de tratamento biológico necessita medir o que se chama de IVL – Índice Volumétrico de Lodo. Trata-se de uma medição com direta relação com a microbiologia do lodo.

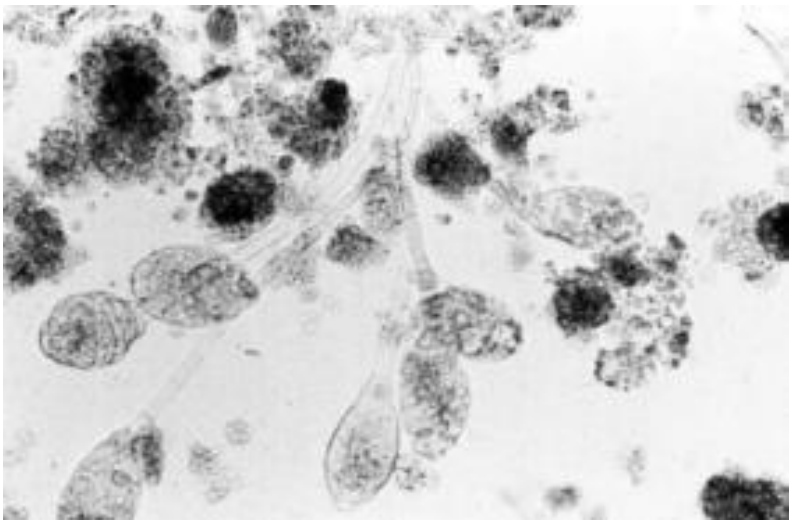
O IVL é medido através de um teste onde se decanta o lodo de saída do reator biológico em um frasco de um litro (béquer ou proveta) por 30 minutos. Deve-se medir a concentração de SST desse lodo (na vida prática, entre 3.500 a 5.000 ppm). O teste preconiza que se utilize a concentração a mais próxima possível de 3.500 ppm, mas diluir o material pode danificar os flocos, então, acaba-se fazendo o teste nas condições da amostra e depois se divide pela concentração com que a amostra estiver. Portanto, o IVL mede o volume que é ocupado por um grama de lodo como tal em condições padronizadas de ensaio.

Quanto mais baixo os valores indicam maior facilidade de decantação do lodo. Valores ideais estão entre 60 a 100 e valores problema acima de 200.

Existe íntima e intensa correlação entre os valores de IVL, a qualidade física dos flocos, a microbiologia presente e a decantação

dos sólidos suspensos no clarificador secundário. Têm-se também inúmeras evidências científicas e tecnológicas de que a qualidade física dos flocos (cor, formato, densidade, dimensões, consistência, etc.) se relaciona à sua microbiologia (diversidade e frequência dos componentes da microbiota desse lodo).

- **Diversidade da microbiota**



As bactérias são os principais seres vivos presentes nos lodos ativados (cerca de 95% de sua massa orgânica). Por essa razão, elas são consideradas fundamentais pelo sucesso do tratamento de lodos ativados. Apesar do charme de se avaliarem protozoários, rotíferos, ciliados e outros bichinhos mais, qualquer boa avaliação deve-se iniciar por entender as alterações nas populações bacterianas presentes nos flocos do lodo ativado. Por essa razão, as avaliações de lodos começam com uma avaliação das bactérias filamentosas. As filamentosas são vitais para a formação do esqueleto do floco.

Quando as filamentosas estão apenas presentes no interior dos flocos e sua população exterior aos flocos é mínima, não há necessidade de se identificar quais os tipos dominantes de filamentosas. Entretanto, toda vez que a população externa de filamentosas e a formação de cabeleiras forem frequentes (perigo de intumescimento do lodo), sugere-se uma identificação do tipo predominante de filamentosas. Existem chaves taxonômicas muito boas na web, a maioria apoiada em aspectos morfológicos e na coloração diferenciada entre espécies, em resposta à adição de

corantes específicos. A presença ou não de partículas de enxofre no interior das células também oferece condições de melhorar a identificação.

As principais bactérias filamentosas pertencem aos gêneros: *Microthrix, Thiothrix, Beggiatoa, Nostocoida, Nocardia, Sphaerotilus*, etc. Dentro de cada gênero, temos diversas espécies e dentro de cada espécie existem linhagens adaptadas a condições ambientais diversas.

Além das filamentosas, a avaliação microbiológica pode caracterizar tipos e populações das bactérias formadoras de flocos (desejáveis). Dentre essas bactérias destacam-se os gêneros: *Pseudomonas, Zooglea, Bacillus, Flavobacterium, Aerobacter, Citromonas, Alcaligenus*, etc.

Durante a fase de avaliações bacterianas já é possível se encontrar possíveis anomalias na microbiologia, ou seja, evidências de algum desbalanceamento populacional, como seriam os casos de excessiva formação de filamentosas ou de *Zooglea*.

Existem outros tipos de bactérias que costumam indicar algum tipo de anormalidade operacional na estação:

→ Bactérias tétrades: indicam falta de nutrientes (nitrogênio, fósforo, ou ambos);

→ Bactérias G: indicam zonas pobres em oxigenação dentro do reator, ou eventualmente, excessiva dosagem de fósforo.

Após a identificação das bactérias, a avaliação microbiológica expedita procura fixar atenção nos protozoários e metazoários. Esses organismos são taxonomicamente mais avançados e complexos que as bactérias. Eles possuem nas bactérias as suas fontes de alimentos. Ao predar as bactérias, eles reduzem a população das mesmas. Frente a esse fato, as bactérias ficam estimuladas a se procriarem mais rapidamente na tentativa de resgatar o equilíbrio populacional. Com isso, aceleram a alimentação de carga poluente para reprodução.

Os protozoários começam a aparecer em ambientes com alta relação F/M (Amebas) ou de locais no reator onde 80 a 90% do alimento já tenha sido utilizado. São, portanto, frequentes no final do reator e no clarificador secundário.

Os protozoários são seres unicelulares, alguns são ciliados, outros pedunculados, alguns livres e outros se fixam a algum substrato (até mesmo em partículas de lodo).

Vorticella (*Protozoa*)

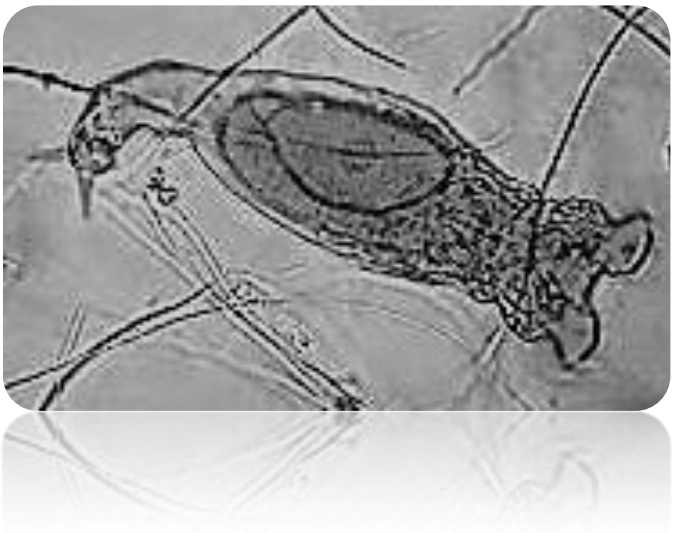
Dentre os protozoários, os mais comuns são: *Amoeba*, *Paramecium* e *Vorticella*. A presença e abundância dos mesmos indicam um meio saudável, com boa quantidade de alimentos e de oxigênio. Costuma-se dizer que a presença de protozoários no lodo do reator é um dos principais indicadores da boa qualidade energética (alimentícia e oxidativa) do local onde estão sendo encontrados. A *Amoeba* costuma aparecer mais no início do reator biológico, onde a relação F/M ainda está alta. Entretanto, os demais protozoários aparecem a partir da metade do reator, desde que a concentração de oxigênio dissolvido esteja superior a 1 ppm.

Alguns protozoários são predadores de flocos frágeis, pois sua movimentação dentro desses flocos na busca de alimento acaba desagregando e desestruturando o floco.

Os metazoários são seres pluricelulares mais complexos e menos abundantes no sistema biológico. São organismos maiores e mais lentos. Eles apreciam viver em condições de baixa F/M desde que exista suficiente oxigênio dissolvido no meio para que possam metabolizar bem. Os metazoários predam bactérias e protozoários e isso não é uma coisa que aconteça no vice-versa. Os mais comuns são os rotíferos. Além de rotíferos, também podem ser encontrados alguns anelídeos e nematoides, mas em frequências esporádicas.

Os rotíferos são muito desejados nos sistemas de lodos ativados, em especial no final do reator. Eles não necessitam de DBO livre no efluente (relação F/M pode ser quase nula) já que se alimentam de outros seres vivos e não de DBO. Apreciam viver em

lodos mais velhos e quase terminais, mas precisam de oxigênio acima de 1 ppm para sobreviverem. Logo, acabam morrendo e decantam no clarificador, pois lá raramente existem essas condições de oxigenação.



Rotífero

Tanto protozoários como metazoários são depuradores de efluentes, pois se alimentam de partículas suspensas de outros organismos. Por isso, ambos os tipos são muito encontrados ao final do reator, quando alguns flocos começam a se desfazer por falta de alimento. Ali, a disputa é intensa, cada um podendo ser alimento de outros, a exceção dos metazoários, que são mais sensíveis à falta de oxigênio.

Os protozoários são bem mais frequentes que os metazoários. Eles são predadores naturais de material orgânico suspenso em líquidos, como as bactérias, mas se alimentam também de algas e fungos inferiores. Com isso, colaboram para manter o equilíbrio populacional entre os diferentes grupos de organismos na microbiota. Já que são abundantes e se alimentam bastante, eles colaboram para redução da turbidez do efluente, fazendo uma espécie de polimento biológico no efluente, melhorando as concentrações de sólidos suspensos, DBO, DQO e, obviamente, turbidez. São, por isso mesmo, considerados limpadores e aspiradores de matéria orgânica suspensa nos efluentes, fundamentais para uma boa qualidade do efluente final.

Protozoários e metazoários são também indicadores de aeração adequada e de boas condições de condutividade, pH e ausência de toxicidade para a microbiota. Eles são muito sensíveis a quaisquer alterações nas condições do sistema, em especial a

compostos tóxicos. Logo, quando as condições pioram no reator, eles são os primeiros organismos a sentirem isso - o reflexo é imediato – aumentam a turbidez do efluente e o teor de sólidos suspensos de reduzidas dimensões (não visíveis a olho nu).

Além desses microrganismos mais comuns, existem outros que aparecem menos frequentemente, mas que também podem ter papel positivo ou negativo no floco e no lodo.

São eles:

- Algas: não são muito abundantes porque o reator e o clarificador não são ambientes propícios a elas, principalmente pela baixa luminosidade e teores de oxigênio. Algumas algas podem aparecer em efluentes com baixos teores de sólidos suspensos em lagoas sépticas, que estejam abandonadas e assoreadas.

- Fungos: são pouco frequentes em sistemas de lodos ativados, pois demandam valores mais baixos de pH (abaixo de 5,5) e costumam exigir boas quantidades de nutrientes e de carboidratos metabolizáveis. Por serem filamentosos (micelares) podem colaborar para a formação do "bulking" filamentoso. Os gêneros mais comuns em ETE's biológicas são: *Geotrichum*, *Cladosporium*, *Penicillum* e *Fusarium*.

♦ Variações da microbiota no reator

Em função da quantidade de alimento solúvel no efluente, representada pela quantidade de DBO disponível, é possível se construir uma espécie de fluxograma microbiológico mostrando os principais organismos presentes em cada fase do reator biológico. Caso tivéssemos mais oxigênio residual no efluente e na manta de lodo no fundo do clarificador, essa microbiologia poderia ser bem mais rica até mesmo no clarificador secundário, porém são quase inexistentes as situações onde se controla ou se ajusta a concentração de oxigênio nos clarificadores.

Em um reator biológico temos situações bem características, tais como:

Local no reator	Microrganismos preferentes
Início do reator ♦ Alta relação F/M ♦ Retorno de lodo	♦ Bactérias ♦ Bactérias filamentosas retornadas com o lodo ♦ Protozoários flagelados ♦ Amebas
Meio do reator ♦ F/M já reduzido em 70% ou mais	♦ Bactérias ♦ Ciliados livres ♦ Ciliados fixos ♦ Flagelados
Final do reator ♦ Baixa relação F/M ♦ Oxigênio residual superior a 1 ppm	♦ Bactérias filamentosas ♦ Rotíferos ♦ Ciliados fixos ♦ Anelídeos ♦ Nematoides

♦ Choques causadores de mortalidade na microbiota

Independentemente de quais organismos estejam habitando o reator biológico e o clarificador secundário, eles são todos seres vivos que merecem nossa atenção e respeito. Mesmo as famigeradas filamentosas causadores de intumescimento do lodo, se elas têm sua população aumentada em demasia, pode ser que a responsabilidade tenha sido nossa – humanos gerenciadores do sistema biológico. Elas em verdade são vitais para se formar o esqueleto do floco. Como eventualmente elas passam a ser a população dominante com certeza é porque alteramos as condições e acabamos por favorecer que isso acontecesse.

Existem condições completamente inadequadas para o crescimento da microbiota que nos interessa no sistema biológico. Caso nós entremos em pelo menos uma delas, já estaremos criando choques e descontroles que invariavelmente trarão consequências na microbiologia no reator biológico e no clarificador secundário.

Por condições inadequadas em qualquer zona do reator podemos citar:

- pH menor que 6 ou maior que 8

- Temperatura maior que 40ºC
- Oxigênio dissolvido menor que 1 ppm
- Condutividade maior que 5.000 µS/cm

Essas condições são críticas para quaisquer dos seres até agora mencionados como favoráveis ao desempenho das estações de lodo ativado. Quando algo de perverso como alguma dessas condições passa a acontecer – nem que seja por pouco tempo – reduz drasticamente a redução de DBO e DQO; aumenta a turbidez, a cor, o teor de sólidos suspensos; além de piorar a qualidade geral do processo.

Além dos efeitos causados por perda de controle sobre as condições usuais operacionais, a microbiologia no reator é muito afetada por condições de excepcionalidade nos efluentes, tais como:

- Ω Paradas da fábrica em emergências;
- Ω Paradas longas programadas para manutenção de equipamentos;
- Ω Recalques exagerados da lagoa de emergência;
- Ω Choques térmicos;
- Ω Choques de produtos oxidantes (residuais elevados da área de branqueamento da celulose);
- Ω Descargas ácidas da planta (sesquissulfato ácido se sódio, ácido sulfúrico, etc.);
- Ω Descargas de metanol;
- Ω Descarga de condensados altamente contaminados e não tratados por destilação;
- Ω Acidentes ambientais com descarga de cargas tóxicas, alcalinas ou ácidas aos efluentes; etc.

Para pequenos choques não vitais, a colônia de microrganismos consegue se recompor em poucos dias. Em cerca de 3 dias já poderá ter saúde adequada de novo.

Já em situações mais críticas, como no caso de paradas emergências da fábrica por períodos mais longos, a produção de alimentos para o reator (DBO) fica insuficiente para manutenção da colônia toda em atividade. Quando a situação voltar ao normal, o tempo de reabilitação da colônia poderá variar entre uma a duas semanas. Mesmo assim, há que se programar essa recuperação microbiológica. Em caso de paradas prolongadas mais longas, sugere-se armazenar efluentes ou licor preto para ir aos poucos se ajustando o alimento para a microbiota, até se poder retornar às condições adequadas de novo.

Felizmente, a capacidade de recuperação da microbiota é efetiva e pode ser realizada com planos de reabilitação programados. Nesse caso, pode-se trabalhar com uma das linhas do sistema de efluentes para se recuperar a vitalidade da colônia de microrganismos, utilizando o pulmão das lagoas de emergência. Entretanto, a fábrica com certeza terá sua produção reduzida por algum tempo, já que os fluxos a tratar terão que ser significativamente menores durante esse período, mesmo com o uso das lagoas de emergência. Tudo isso deve ser muito bem acompanhado por avaliações da microbiologia dos flocos e do lodo.

Nesses momentos críticos, os dirigentes maiores da fábrica precisam ser pacientes e não esquecerem que estamos colocando a microbiota em estado hospitalar – algumas vezes, até em UTI – Unidade de Tratamento Intensivo. Ela só receberá alta quando estiver saudável de novo, capaz de desempenhar seu papel de depuração da carga poluente. Caso as coisas sejam precipitadas, é possível que a colônia seja perdida definitivamente e se tenha que começar de novo todo um processo de formação de uma nova.

==========

VARIÁVEIS DE CONTROLE OPERACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DOS TRATAMENTOS POR LODO ATIVADO

Reator biológico fechado com injeção direta de oxigênio molecular

Apesar de muitos técnicos em uma fábrica de celulose e papel acreditarem que os operadores das ETE's levam uma vida tranquila pela simplicidade tecnológica e conceitual dessas instalações, a realidade é bem outra. É claro que muitos operadores dessas estações não se dão conta de quanto mais eles poderiam fazer para melhorar o desempenho da planta e se contentam apenas em mostrar seus bons números de redução em custos de polímeros e nutrientes. Eles se esquecem de que os nutrientes são vitais para os microrganismos e em falta dos mesmos o desempenho da planta pode piorar substancialmente nas suas reduções em DBO e DQO.

Acontece que muitas dessas ETE's estão superdimensionadas para os níveis instalados de produção. É comum a compra de estações de tratamento de efluentes com certo nível de sobre-capacidade para que as expansões da fábrica em produção de celulose e/ou papel possam ser absorvidas pela ETE sem novos investimentos nas mesmas. Dessa forma, muitas ETE's trabalham folgadas em relação às suas capacidades de projeto. Com isso, os operadores atingem níveis confortáveis de rendimentos em reduções de DBO, DQO, SST e sólidos sedimentáveis. Acabam se acomodando, pois rendimentos em redução de DBO na faixa de 80 – 85% já são por muitos considerados excelentes; porém, com algum esforço de otimização poderiam atingir 88 a 93% - será que não valeria a pena?

Por incrível que possa parecer – muitos acreditam que não devam desempenhar muito melhor do que as restrições legais

colocadas para a planta, caso contrário na renovação da licença operacional poderiam ser surpreendidos com restrições mais severas – e acabam assim mantendo uma operação razoável quando ela poderia ser excepcional.

Outro fator que estimula essa acomodação é o consumo de água por tonelada de celulose. A maioria das instalações é licenciada para níveis bem mais elevados de uso de água do que realmente precisam em função de suas tecnologias – aqui também existe quase sempre uma solicitação adicional de liberação de água para permitir aumentos de capacidade de produção na linha de celulose e papel, dentro dos mesmos parâmetros da licença ambiental. Isso acaba favorecendo o consumo maior de água, até mesmo maior do que o projetado – evidentemente com exceções, obviamente.

Com maiores consumos unitários em água, geram-se maiores volumes específicos de efluentes, o que dilui a carga poluente em suas concentrações de DBO, DQO, SST, cor, etc. Além disso, ficará muito mais fácil, com maior uso de água se fazer o controle da temperatura do efluente ao reator biológico. Também se limpam e se purgam impurezas mais facilmente do processo, reduzindo as inconvenientes ocorrências de depósitos e incrustações de sais precipitados ou de extrativos da madeira ("pitch").

Essas considerações a título de palavras introdutórias estão colocadas apenas para testemunhar e reforçar que existem espaços para melhorias significativas nos rendimentos e desempenhos de estações de tratamento de efluentes, desde que se colocasse sobre muitas delas um foco de melhoria de desempenho mais forte e comprometido.

O controle operacional de um sistema biológico de tratamento de efluentes por lodo ativado está todo fundamentado em três tipos de indicadores ou parâmetros de controle:

Parâmetros físico-químicos de análise de efluentes

DBO ou DBO_5 = Demanda Bioquímica ou Biológica de Oxigênio

Ensaio a ser realizado em efluentes filtrados preferencialmente em peneiras de malha 400 *mesh*.

Expressa a concentração de material orgânico biodegradável por uma colônia padronizada de microrganismos em um período de 5 dias. Eventualmente, mas não é o caso do setor no Brasil, pode-se trabalhar com DBO_7, que significa um tempo de residência de 7 dias para biodegradação.

Quanto mais especializado for o inóculo de microrganismos, maior será a concentração em DBO que será encontrada. Isso permitirá obter informações inclusive sobre a capacidade dos microrganismos em degradar a matéria orgânica sendo testada. Por isso, muitos laboratórios de teste inoculam como semente o próprio lodo da ETE. Outras preferem trabalhar com inóculos padrões comerciais.

DQO = Demanda Química de Oxigênio

Ensaio a ser realizado em efluentes filtrados preferencialmente em peneiras de malha 400 *mesh* – no caso, para se avaliar os desempenhos do sistema biológico sem a interferência de sólidos suspensos como fibras, fibrilas, partículas de madeira e casca, etc.

Para o efluente a ser enviado ao corpo receptor não de deve filtrar o mesmo para testar DQO, pois nesse caso não se estão avaliando eficiências internas na fábrica, mas potencial de comprometimento da contaminação orgânica total do efluente sendo despejado.

A filtração do efluente é necessária para se medir apenas a DQO e DBO dissolvidas e solubilizadas na água e não compostos na forma de partículas que não são biodegradados, mas que consomem agente oxidante.

Ensaio que mede a concentração de toda a matéria orgânica dissolvida presente e de outros compostos potencialmente oxidáveis em condições ácidas por dicromato de potássio – um agente oxidante forte e poderoso.

A DQO engloba todos os constituintes da DBO e também outros compostos orgânicos recalcitrantes à biodeterioração, além de compostos reduzidos que sejam passíveis de serem oxidados quimicamente (sulfetos, mercaptanas, dióxido de carbono, etc.).

Relação DBO/DQO

Deve ser calculada com base em análises de DBO e DQO realizadas em efluentes filtrados. Caso não se filtre o líquido, a relação será muito dependente da variável presença de fibras no efluente – o que leva a se terem flutuações disparatadas da relação.

A relação DBO/DQO é um indicador da capacidade de biodegradação da fase dissolvida da matéria orgânica presente no efluente. Essa relação varia em função do tipo de produto sendo fabricado e dos constituintes do efluente. Há diferenças muito grandes encontradas para essa relação em comparações entre fábricas integradas de papel, fábricas de papel reciclado, fábricas de pastas de alto rendimento, fábricas de celulose kraft não-branqueada e de celulose kraft totalmente branqueada. Por isso mesmo, os valores para essa relação podem variar entre 0,4 a 0,8, sendo que quanto mais alta a relação, maior será a possibilidade de a poluição orgânica ser efetivamente tratada pelo tratamento biológico (maior biodegradabilidade).

Quando a relação DBO/DQO é baixa (0,4 ou menos - por exemplo), há evidências de que existe presente muita matéria orgânica biologicamente persistente e recalcitrante ao tratamento biológico – ou então, que existem compostos tóxicos no efluente, que impedem a boa deterioração pelo agente biológico inoculado para o teste de DBO. Outra possibilidade seria que o inóculo microbiológico não esteja bem adequado ao substrato, esteja velho, tenha perdido efetividade, etc.

Quando uma fábrica altera seu tipo de processo, por exemplo, mudando uma sequência de branqueamento TCF ("Totally Chlorine Free") para ECF ("Elemental Chlorine Free") existem mudanças na composição do efluente – mudam muitos dos constituintes recalcitrantes e muda-se o nível de toxicidade do efluente. Quando se usa o lodo da ETE como inóculo para o teste de DBO, conforme o lodo vai-se adaptando à nova situação, os resultados acabam por irem se alterando com o tempo. É por essa razão que muitos laboratórios preferem trabalhar com semente (inóculo) comprada – mesmo que ela não tenha sido desenvolvida para efluentes de fábricas de celulose ou de papel.

Condutividade

Relacionada à salinidade das águas sendo tratadas.

Sólidos Sedimentáveis

Ensaio realizado em um Cone de Imhoff para se medir a quantidade (volume) de sólidos sedimentáveis contida em um litro de efluente, por período de tempo determinado, controlando-se a temperatura do efluente.

SST - Sólidos Suspensos Totais

Concentração de sólidos suspensos totais presentes no efluente, englobando materiais orgânicos e inorgânicos.

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

Concentração de sólidos suspensos orgânicos presente no efluente, em geral referidos como concentração de biomassa ou de microrganismos.

COT – Carbono Orgânico Total

Mede a concentração de carbono orgânico que está presente no efluente, subtraindo os conteúdos de carbono de origem

inorgânica (carbonatos, por exemplo). Relaciona-se com a DQO, por isso, é um ensaio muito usado para avaliações de rotina, pela simplicidade de ser executado por sensores online e automatizados.

Turbidez

A turbidez é uma medida do espalhamento de luz produzido pela presença de partículas coloidais ou em suspensão no efluente. Consiste em um parâmetro indicador da presença de areia, substâncias orgânicas (partículas de lodo) ou inorgânicas (carbonato de cálcio, caulim) finamente divididas e suspensas, inclusive corpos de microrganismos (bactérias, protozoários).

Cor aparente

Medição colorimétrica da cor em comparação a padrões, sendo o teste realizado sem subtrair o efeito da turbidez (com material coloidal ou em suspensão).

Cor real ou verdadeira

Medição colorimétrica da cor (mesmo procedimento anterior) em comparação a padrões, sendo o teste realizado retirando o efeito da turbidez (sem presença de material coloidal ou em suspensão). Faz-se essa remoção pela centrifugação da amostra para separação dos sólidos suspensos. Valores de cor real são sempre inferiores aos de cor aparente, por essa razão, sempre que se falar em cor de efluente, há que se identificar que tipo de cor se está medindo.

OD - Oxigênio Dissolvido

Corresponde à concentração de oxigênio na massa hídrica - medição importantíssima em todas as fases do processo biológico.

TIN - Nitrogênio Inorgânico Total - ("Total Inorganic Nitrogen")

Corresponde à concentração somada dos conteúdos de nitrogênio prontamente assimilável pelos organismos ($N_{amoniacal}$, $N_{nítrico}$, $N_{nitroso}$).

P – Fósforo (ortofosfato)

Corresponde à concentração do fosfato (PO_4) que é prontamente assimilável pelos organismos. O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: fosfatos orgânicos, que é a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas; ortofosfatos, que são representados pelos radicais que se combinam com cátions, formando sais inorgânicos nas águas (prontamente assimiláveis); e os polifosfatos, de pouca expressão biológica.

Temperatura

pH

Indicadores biológicos

Correspondem àqueles apresentados em seção anterior e descritos como microbiologia do lodo e do floco.

Indicadores de desempenho operacional da instalação

Esses indicadores são controles de natureza hidráulica ou de conceito do projeto da estação de tratamento e que servem para que o operador possa fazer as alterações de seu interesse para melhorias do desempenho operacional.

Basicamente, esses indicadores estão relacionados a:

- Fluxos mássicos ou volumétricos;
- Volumes de reatores, seletores e clarificadores;
- Concentrações do efluente em DBO (Alimento, *Food*, comida);
- Concentrações do efluente em DQO (Material oxidável total);
- Concentração do efluente em SST (Sólidos Suspensos Totais);
- Concentração do efluente em SSV (Sólidos Suspensos Voláteis, biomassa ou microrganismos);
- Quantidade de lodo excedente extraído;
- Quantidade de lodo recirculado;
- Potencial de decantação do lodo (medido pelo IVL – Índice Volumétrico de Lodo).

A partir dessas poucas métricas se geram diversos indicadores chaves para o controle (ou projeto) da estação de tratamento biológico por lodo ativado. São indicadores consagrados e adotados em todas as estações desse tipo, independentemente se o efluente sendo tratado seja de uma indústria de celulose e papel, alimentícia, mineradora ou em estações de esgoto cloacal de municipalidades. Esses indicadores permitem o controle, o monitoramento e a otimização de desempenho do sistema de tratamento de efluentes.

Caso tenham interesse em aprender mais sobre esses indicadores, recomendo que leiam os seguintes documentos, muito esclarecedores sobre as maneiras de se calcular e utilizar os mesmos:

Lodos ativados. Vivendi Water Systems Brazil. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. Acesso em 07.03.2014:

http://www.slidefinder.net/p/processo_nitrifica%C3%A7%C3%A3o/32342344

Efecto de los cambios de producción de celulosa en la planta de tratamiento de efluentes. A.R. Jiménez Mancinelli. Dissertação de Mestrado Profissional. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 59 pp. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2972/188099_c.pdf?sequence=2 (em Espanhol)

e

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3753 (em Espanhol)

Lodos ativados. Manual de operação. Acqua Engenharia e Consultoria. 27 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.acquaeng.com.br/wp-content/uploads/2010/01/manuallodosativados1.pdf

Curso de atualização para operadores de tratamento de efluentes. N.R. Lima. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 38 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/84_Apostila%20Curso%20Operadores%20de%20ETE.pdf

Dentre os principais indicadores de controle de qualidade operacional estão os seguintes:

Concentração da biomassa microbiológica no reator ("MLVSSC – Mixed Liquor Volatile Suspended Solids Concentration")

É expressa pela concentração de SSV no efluente, em geral referenciada em ppm, mg/L, g/m³ ou kg/m³. Aceita-se esse valor como a concentração de microrganismos (sejam vivos ou mortos) presentes como partículas de sólidos orgânicos secos que estão suspensas no efluente.

Carga de DBO (ou Carga diária de Alimento)

Corresponde à quantidade diária de DBO novo que entra no sistema biológico através da introdução do efluente primário equalizado e neutralizado.

É obtida pelo cálculo muito simples a seguir:

Carga de DBO (expressa em kg DBO/dia) =

(Fluxo entrada efluente bruto, em m^3/dia) x (concentração da DBO, em kg/m^3)

Carga de DQO

Similarmente à anterior, se calcula com base em dados de DQO e não DBO:

Carga de DQO (expressa em kg DQO/dia) =

(Fluxo entrada efluente bruto, em m^3/dia) x (concentração da DQO, em kg/m^3)

Biomassa contida e mantida como microrganismos no reator (M)

Corresponde à quantidade média de biomassa que deve ser mantida no reator para fins de estimativa de quantidade de lodo excedente a ser removido.

É calculada com base no volume do reator e na concentração de SSV na parte inicial do reator e não ao seu final – pois ao final essa concentração já terá se elevado pelo crescimento microbiológico. A diferença entre o valor final e inicial é exatamente a quantidade incrementada de lodo no sistema (e que deve ser retirada do sistema para manter a mesma idade de lodo e mesma concentração inicial de SSV).

M = Biomassa = Microrganismos (expresso em kg de biomassa orgânica) =

(Volume do reator, em m³) x (Concentração de SSV, em kg/m³)

Relação F/M (Relação Alimento/Biomassa – Relação "Food"/Microrganismos)

É calculada pela relação entre a carga de alimento novo que entra por dia no reator através do efluente primário equalizado e a massa de SSV (biomassa) que se está procurando manter no interior do reator (após reciclo do lodo).

Alterações propositadas na concentração de SSV modificam: taxa de reciclo de lodo, relação F/M e idade do lodo.

F/M (expressa em kg DBO/kg M.dia)
ou
F/M (expressa em kg DBO/kg SSV.dia)

=

Carga de DBO (expressa em kg DBO/dia) / M (em kg SSV)

Valores mais usuais de relação F/M:

- Sistemas com alta carga e com injeção de oxigênio de alta pureza: 0,5 a 1
- Sistemas convencionais: 0,2 a 0,6
- Sistemas com aeração prolongada: 0,1 a 0,2

COV - Carga Orgânica Volumétrica

Corresponde à quantidade de alimento diário que se introduz no sistema por metro cúbico de reator. Tem mais interesse para projetos de engenharia e de dimensionamento do que como variável de controle rotineiro.

COV (em kg DBO/m³. dia) =

Carga de DBO (em kg DBO/dia) / (Volume do reator, em m³)

Valores mais usuais: 0,5 a 1,9 kg DBO/m³ de reator.dia (varia conforme o sistema é convencional ou por aeração prolongada com reatores maiores)

TRH - Tempo de Retenção ou Detenção Hidráulica

É o tempo médio de residência do efluente novo dentro do reator. Como existe um fluxo grande de lodo de retorno, deve-se levar em conta esse retorno de lodo, que ocupa espaço do reator e abrevia o tempo de permanência do efluente novo no reator (diminui-se o volume útil de reator para o efluente, já que parte do reator fica constantemente ocupada pelo reciclo de lodo).

TRH (em horas) =

Volume do reator (em m³) / (Fluxo efluente novo, em m³/hora) + (Fluxo do reciclo de lodo, em m³/hora)

A taxa de retenção ou detenção hidráulica costuma variar entre 4 a 6 horas para sistemas convencionais, sendo muito maior para os sistemas de aeração prolongada (10 a 20 horas). Para os sistemas compactados de alta carga e injeção de oxigênio de alta pureza esse tempo de retenção/detenção hidráulica é bastante curto – 1 a 3 horas – o que conduz a reatores bem menores e por isso mesmo indicados para estações em áreas geográficas limitadas.

TRL - Taxa de Reciclo de Lodo

Corresponde à relação entre o fluxo volumétrico de lodo de retorno e o fluxo volumétrico de efluente novo que entra no reator. Trata-se de uma mera relação de fluxos volumétricos, sem levar em conta concentrações de espécie alguma. Pode ser expressa em percentagem ou em número simples, porém a percentagem pode ser maior do que 100%, ou o número simples maior que 1, uma vez que o fluxo de retorno de lodo pode ser maior do que o fluxo de efluente

novo. Esse tipo de situação acontece quando se trabalha com maior idade de lodo (maior reciclo de lodo).

TRL = (Fluxo de lodo reciclado ao reator, em m³/h) / (Fluxo de efluente primário novo que ingressa no reator, em m³/h)

Valores mais usuais: 0,25 a 1,5 (25 a 150%)

Quanto maior a taxa de reciclo de lodo, maior o tempo de permanência do lodo no reator – isso significa maior idade de lodo, maior concentração de SSV no reator e menor relação F/M. Tudo intimamente relacionado e um afetando diretamente o outro.

IL – Idade do Lodo ou Tempo de Retenção do Lodo no Reator

É o tempo em horas de permanência do lodo no interior do reator biológico. Calculada de duas formas:

- Idade Aparente de Lodo – não leva em conta a perda de lodo que sai do sistema junto ao efluente tratado. É mais usual, pois é mais simples de ser calculada.

- Idade Real de Lodo – leva em conta um balanço mássico mais detalhado para se calcular perdas de lodo do sistema e outros reciclos de água de desaguamentos de lodo, etc.

Em ambos os casos, o objetivo é verificar quantas horas se levaria para remover toda a biomassa M do reator através da remoção de lodo excedente (incluindo ou não outras perdas de lodo, como aquela que acompanha o efluente tratado na forma de sólidos suspensos).

Idade Aparente de Lodo

Calculada de forma expedita pela relação:

IAL (em horas) =

M no reator (em kg SSV) / (Fluxo de lodo descartado, em m³/h) x (Concentração de SSV no lodo sendo reciclado, em kg SSV/m³)

Utiliza-se no cálculo a concentração de SSV do lodo sendo reciclado porque ela é medida para os ajustes de SSV no reator e é exatamente a mesma do lodo excedente sendo extraído. Isso porque

o lodo é o mesmo – são apenas separados dois fluxos, mas sem alteração em qualidade. A diferença ocorre depois, quando o lodo descartado é engrossado por prensagem ou centrifugação para extração de água e redução de peso a manusear.

Idade Real de Lodo

Inclui também no denominador a quantidade de lodo orgânico (sólidos suspensos voláteis) sendo descartada pelo efluente tratado para o corpo receptor.

Essa quantidade de SSV perdida para os corpos receptores pode ser calculada por:

(Fluxo de efluente tratado despejado no rio, em m^3/h) x (Concentração de SSV nesse efluente tratado, medida na saída do clarificador secundário, em kg/m^3)

Com isso, as saídas totais de biomassa do sistema seriam:

Lodo que sai do sistema todo (em kg/h) =

(Fluxo de lodo extraído para descarte, em m^3/h) x (Concentração de SSV no lodo sendo reciclado, em kg SSV/m^3)
+
(Fluxo de efluente tratado despejado no rio, em m^3/h) x (Concentração de SSV nesse efluente tratado, medida na saída do clarificador secundário, em kg/m^3)

A Idade Real de Lodo seria então calculada através de:

IRL (em horas) = M no reator (em kg SSV) / (Lodo total que sai do sistema, em kg SSV/h)

A unidade de medição da Idade Aparente de Lodo e da Idade Real de Lodo é a mesma – pode ser expressa em horas ou dias. Como no caso da IAL não se introduz a perda de lodo pelo efluente tratado, seus valores são ligeiramente superiores em relação aos da IRL.

Existem diferenças na forma de se medir o fluxo do efluente tratado. Quase sempre é exigência legal que exista uma calha Parshall para se medir o fluxo de lançamento. Porém, muitas vezes existem outras adições de água imediatamente antes dessa calha (efluentes pluviais, águas limpas de selagem de bombas, lixiviado do

sistema de tratamento de cinzas da caldeira de recuperação, etc.). Dessa forma, é comum a necessidade de se fazer algum balanço de massa simples para se estimar o fluxo de efluente tratado e que estaria saindo do clarificador secundário.

Caso haja medição do efluente primário equalizado e neutralizado, logo após a caixa de equalização ou de neutralização, pode-se estimar o fluxo de efluente tratado subtraindo perdas de resfriamento pelas torres, perdas de evaporação no reator e clarificador e perdas da água que acompanha o lodo prensado que é descartado. São cálculos e estimativas válidas para testes rotineiros e de controle expedito.

A idade do lodo varia conforme o tipo de sistema biológico sendo utilizado. Ela cresce conforme saiamos de efluentes fechados com adição de oxigênio molecular atingindo os maiores valores em sistemas com aeração prolongada:

- Sistemas de injeção de oxigênio de alta pureza: 1 a 5 dias
- Sistemas convencionais: 5 a 15 dias
- Sistemas com aeração prolongada: 18 a 30 dias

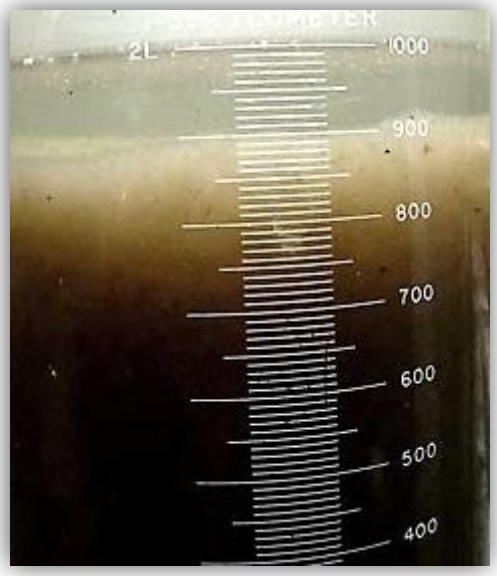
Carga de Aeração

Consiste na capacidade diária de oferta de oxigênio para o reator, independentemente do qual sistema de aeração se esteja utilizando – medida em kg de Oxigênio por dia.

Taxa de Oxigenação

É a relação entre a carga de aeração (kg O2 por dia) e a carga diária de alimento ou de DBO (kg DBO por dia), expressa como kg O_2/kg DBO.

Seus valores usualmente estão entre 1,0 a 2,2 kg O_2/ kg DBO



Como já vimos, o IVL define o volume que um grama de lodo ocupa quando decantado em condições padronizadas em um recipiente graduado que recebe 1.000 ml de suspensão de lodo e que é mantido em decantação por 30 minutos. O cálculo do valor leva em conta a concentração em sólidos suspensos totais da suspensão de lodo para trazer o resultado para um grama de lodo seco.

Costuma-se utilizar nesses cálculos a concentração de SST e não de SSV, já que é todo o lodo que se decanta e não apenas a fração orgânica.

IVL = (Volume decantado em 30 minutos, em ml/L) / (Concentração em SST do lodo em suspensão, em g/L)

IVL é expresso em ml/g

Exemplo de cálculo: Valor decantado de 420 ml em 30 minutos de um lodo com 3 g/L de concentração em SST

IVL = 420 ml/L : 3 g/L = 140 ml/g

A metodologia recomenda que se trabalhe com concentrações as mais próximas de 3,5 g/L para evitar influências de concentrações variadas na decantação das partículas.

==========

O REATOR BIOLÓGICO E O CONTROLE DAS SUAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS OPERACIONAIS

O coração que governa a eficiência do tratamento biológico de efluentes pelo sistema de lodos ativados é o reator biológico ou tanque de aeração. É ali que os microrganismos mais atuam para promover a degradação dos compostos poluentes dissolvidos e que temos como missão reduzir pelo sistema de tratamento. Dentro do reator, a comunidade que constitui a microbiota deve encontrar as condições ideais em termos de temperatura, pH, condutividade, nutrientes e qualidade de material orgânico alimentício para que possa se desenvolver bem e metabolizar ao máximo os alimentos orgânicos poluentes. Quanto maior a taxa metabólica dos microrganismos, melhor será a eficiência do tratamento.

Cabe ao operador da ETE prover as condições ideais para que os microrganismos cresçam e se multipliquem para depois serem extraídos como lodo. Para fazer isso bem, ele precisa monitorar as eficiências do tratamento e a vitalidade e saúde da microbiota.

As avaliações de eficiência ele obtém relacionando os valores de saída e de entrada do reator (ou do tratamento todo) em parâmetros como: DBO, DQO, N, P, COT, AOX, SST, etc.

Qualquer cálculo de eficiência de redução se calcula facilmente por uma relação matemática do tipo:

Eficiência = 100 x [(Concentração de Entrada – Concentração de Saída) / (Concentração de Entrada)]

Exemplo:

DBO na entrada do efluente bruto ao reator = 600 ppm
DBO no efluente tratado na saída do clarificador = 80 ppm

Eficiência na redução da DBO = 100 x [(600 – 80) /600] = 86,6%

A grande verdade dos fatos é que o operador não tem muitas flexibilidades operacionais para fazer muitos dos ajustes que ele gostaria de fazer, já que:

- O fluxo de efluentes se mantem relativamente estável, já que as diversas áreas da fábrica costumam trabalhar dentro de excelentes níveis de continuidade operacional. Somente em condições de excepcionalidade operacional é que temos melhorias ou "piorias" do fluxo e da qualidade de efluentes setoriais, com maior frequência para as "piorias". As fábricas mais modernas possuem sistemas de recuperação de perdas e de lagoas de emergência que podem ajudar na regularização dos fluxos e da qualidade do efluente enviado ao reator, mas essas flexibilidades são limitadas.

- O abaixamento da temperatura a níveis bem mais baixos dos limites máximos é muito difícil de ser conseguido em função das limitações dos sistemas de arrefecimento de temperatura e pelo constante fechamento dos circuitos dos sistemas de águas fabris. Isso faz com que essa flexibilidade de acertos de temperatura seja cada vez menor, em especial nos períodos quentes de verão.

- A quantidade de ar (oxigênio) injetada no sistema é outro limitante técnico crítico. Apesar de em muitos casos se trabalharem com níveis críticos de oxigênio dissolvido no seletor e no reator, são muito pouco frequentes as instalações que ofereçam aos operadores a possibilidade de poder injetar mais oxigênio através de sistemas de injeção complementares de oxigênio de alta pureza ou de agitadores reservas para serem ligados quando requisitados. Apesar do enorme potencial de melhoria que é a suplementação no fornecimento de

oxigênio de alta concentração, poucas empresas possuem essa tecnologia – ou mesmo se atentam que isso seria possível.

- O tempo de retenção/detenção hidráulica no reator praticamente não tem flexibilidade alguma para ajustes, a não ser com alteração na taxa de recirculação de lodo, para criar mais espaço para colocar efluente dentro do reator.

Dessa forma, as ações do operador ficam limitadas a cinco fatores operacionais que ele mantem atuação firme, atenta e contínua:

Entrada diária de alimentos (F) no sistema, pois apesar da continuidade operacional, as fábricas e os setores das fábricas costumam ter variações de ritmos de produção devido à troca de campanhas, mudanças de velocidades de produção, pequenas paradas operacionais, etc.

Adição de nutrientes;

Controle do oxigênio residual;

População de microrganismos no reator que é medida pela concentração de SSV no reator ou seletor (início, meio e final);

Idade do lodo, que é função da taxa de retorno ou reciclo de lodo.

Na verdade, a idade de lodo se controla extraindo mais ou menos lodo do sistema para se ajustar para baixo ou para cima a concentração de SSV no reator. Quando o operador retira mais lodo do sistema biológico para reduzir a concentração de SSV no reator, ele causará redução na população da microbiota e – ao mesmo tempo, diminuirá a idade do lodo no sistema.

Paralelamente a esses ajustes, o operador mantém foco em outros parâmetros físico-químicos do processo, como: temperatura na entrada do efluente no reator (não deve ultrapassar 40ºC); condutividade no mesmo ponto (não deve ultrapassar 3.500 a 4.000 µS/cm); teor de oxigênio residual na massa hídrica sendo tratada no reator (nunca menor que 1 ppm) e relação F/M.

Outros fatores que o operador precisa monitorar são: pH e toxicidade do efluente bruto e dos efluentes setoriais (quando ocorrer indícios de toxicidade no reator).

No caso do pH, interessa tanto o pH de entrada do reator, como de saída. Existe enorme formação de gás carbônico no reator e esse gás dá origem ao ácido carbônico, que é um ácido fraco, mas que ajuda a baixar o pH. O CO_2 se forma pela decomposição biológica da matéria orgânica para liberação de energia para os microrganismos – já vimos isso, lembram-se?

A taxa de formação de CO_2 no reator pode variar entre 0,9 a 1,1 kg CO_2/kg DBO removido no reator.

O desempenho do reator raramente é absolutamente estável. Estamos falando de tratamentos utilizando variadas populações de organismos vivos, cada qual com sensibilidades e demandas diferentes por qualidade de alimento e condições ambientais para metabolização.

Quando as coisas não vão muito bem, já surgem sintomas e evidências no sistema:

- ✓ Aumento de sólidos sedimentáveis no efluente tratado;
- ✓ Redução na eficiência de redução da DBO e/ou da DQO;
- ✓ Aumento da turbidez e da cor do efluente tratado;
- ✓ Flutuação de lodo ("bulking") na superfície do clarificador secundário;
- ✓ Aumento do IVL – Índice Volumétrico de Lodo, etc.

Quando isso acontece, o operador deve tentar entender e esclarecer o que está acontecendo com seu processo. Como o sistema todo tem um enorme pulmão, as alterações pontuais e bruscas (choques) na qualidade de um efluente setorial acabam só sendo notadas horas ou dias depois. Exemplo desses choques: descarga de uma substância oxidante química em níveis elevados; aumento da temperatura do efluente por lançamento de maiores quantidades de condensados quentes; etc.

Acontece o fato, caros amigos, que quando há impactos sobre os microrganismos, as consequências são imediatas – se parte da colônia morre, a eficiência se perde a partir daquele momento – embora possa tomar certo tempo para ser notada em função do efeito mistura.

O que faz então o operador além de controlar o que já mencionamos?

Ele põe sempre sua atenção em:

- Qualidade dos flocos;
- População de protozoários, rotíferos e bactérias filamentosas;
- Ecotoxicidade dos efluentes;
- IVL – Índice Volumétrico de Lodo;
- Turbidez e cor do efluente tratado;
- Teor de nutrientes residuais (N e P) no efluente;
- Nível de oxigênio em todas as fases do sistema;
- Relação F/M – essa relação é definitivamente muito apreciada pelos operadores, pois ela é fácil de ser ajustada e indica inúmeras coisas a eles.

A grande verdade é que depois que se causaram danos à colônia de microrganismos, por alguma razão, seja na operação da produção fabril ou na operação da ETE, toma algum tempo para se recompô-la, e esse tempo de tratamento de reabilitação pode tomar uma ou duas semanas. As perdas podem ser absolutamente importantes nos resultados produtivos e econômicos resultantes dessa situação.

Nos sistemas de tratamento de efluentes de fábricas de celulose e papel, o suprimento médio diário de F tende a não variar muito – as taxas de continuidade operacional são altas. Porém, existem variações nos valores de F – menos nos valores médios diários, mais nas alterações desses valores ao longo do mesmo dia calendário.

Essas variações são função de:

- Alterações no ritmo de produção da fábrica (variações de velocidades de produção, pequenas paradas, etc.);
- Alterações nas condições operacionais em algum setor da fábrica (transbordos, aumento do número kappa, dificuldades no branqueamento da celulose, perdas de eficiência de lavadores, etc.);

- Taxa de recalque do efluente contido em lagoa de emergência e que deva ser reintegrado à ETE para tratamento;

- "Boiling outs" e lavagens de sistemas operacionais (máquina de celulose ou de papel, evaporadores, caldeira de recuperação, etc.);

Essas flutuações em suprimento de alimento podem acontecer nos dois sentidos: maior produção de F ou menor. Quando há reduções na produção de celulose (por exemplo: parada de 12 horas para manutenções) há forte impacto na produção de comida para a microbiota. Quando há aumento na taxa de recalque da lagoa de emergência, aumenta essa oferta de F – então, muitas coisas podem afetar momentaneamente o valor de F, mesmo que as médias diárias não mostrem muito isso!

De certa forma, interessa aos operadores se ter à mão uma fonte de alimentos para compensar algum tipo de alteração no suprimento de DBO para a estação. Acontece que não é só a quantidade de F, mas também sua qualidade. Mesmo que tenhamos muito alimento estocado na lagoa de emergência, esse alimento pode ter características de septicidade e causar problemas na variabilidade da microbiota.

Em verdade, existem outras fontes de alimento nas fábricas, como o grande volume de efluentes que se mantem estocados nos clarificadores primários. Alguns sistemas de recuperação de perdas também possuem tanques pulmão para conter perdas orgânicas, que também podem ser alimentos ao sistema biológico. É interessante que o operador possa ter planos emergenciais para trabalhar a distribuição de alimentos estocados nos momentos de carestia.

A relação F/M pode ser ajustada pela oferta ou retirada de alimento ou pela variação na concentração de SSV no reator. Como a concentração de SSV afeta F/M, idade do lodo e taxa de reciclagem do lodo, pode-se dizer que ela é a variável mais crítica que o operador da ETE manobra. Caso você pergunte a qualquer operador de ETE o que ele mais faz para controlar sua estação, ele provavelmente dirá que altera a extração de lodo para descarte para corrigir a concentração de SSV no reator. Com isso, na verdade, ele estará afetando as demais variáveis chaves – mas ele não pode ficar controlando só uma delas. Isso porque se ele deixar de extrair a quantidade mínima de lodo que precisa, ultrapassará as concentrações de SSV no reator, entupirá o reator com lodo velho e terá pouca efetividade e baixas eficiências no reator.

A concentração de SSV no reator é tão importante, que seu ajuste pode inclusive corrigir os residuais de oxigênio no reator. Vejam que quanto maior for a população microbiológica, mais oxigênio teremos que suprir. Quando estamos com falta de oxigênio no reator e não temos como fornecer mais, uma das formas mais simples de se ajustar isso é pela redução da concentração de SSV no reator pela retirada de mais lodo. Com menores populações e com eficientes ajustes, o operador pode até mesmo manter ou melhorar as eficiências da estação, já que a falta de oxigênio estaria destruindo organismos importantes para a efetividade do tratamento (protozoários e metazoários).

Dentro de certos limites, muita coisa é possível pelos ajustes na concentração de SSV no reator. Porém, essas alterações sempre demandam atenções redobradas, pois a alteração em SSV afeta de imediato a relação F/M, a idade do lodo, as quantidades de lodo a manusear para descarte ou reciclo e a própria velocidade de estabilização do lodo.

Como vocês podem notar, as inter-relações são enormes e nem por isso se pode focar uma ou duas variáveis. Para conhecer, interpretar os sintomas, tomar decisões e agir bem, os operadores de ETE's precisam ser pessoas bem treinadas e com excelente conhecimento técnico, biológico, econômico e do próprio processo. Isso para não acabarem enganados pelo pessoal de geração de efluentes setoriais, que sempre se preocupam em oferecer justificativas para os seus lançamentos inadequados de efluentes.

O controle da relação F/M é outro dos parâmetros de controle que o operador de ETE gosta de monitorar. Ela é afetada pelo excesso ou pela falta de F ou pela mudança na concentração de SSV no reator. Costuma-se dizer que a relação F/M dá uma indicação do nível energético (alimentos ricos em energia) e da atividade biológica dentro do reator.

Quando se introduz o efluente no reator, o nível energético é elevado e a população microbiológica se ativa toda para se alimentar desses alimentos energéticos e passa a reproduzir seus indivíduos, produzindo mais SSV. Com a reciclagem de lodo se ajusta a concentração de SSV que se deseja no início do reator ou do seletor. Com muito alimento, a população microbiológica se farta nesse banquete e se movimenta bastante, crescendo suas células e suas proles.

Conforme o nível energético no reator começa a decrescer, vai reduzindo a atividade biológica, os microrganismos se movimentam menos e começam a se concentrar na formação dos flocos. Não existem mais justificativas para os organismos ficarem correndo para

se alimentar ao limite – a comida agora está disponível em menor quantidade e a população cresceu – o período de economizar energia se instala. Todos procurarão ser mais econômicos em suas locomoções e comerão moderadamente a comida disponível no floco. Alguns até mesmo servirão de comida para outros (bactérias sendo devoradas por protozoários dentro dos flocos, por exemplo). Quando o nível de F cai muito e a relação F/M aproxima-se do zero, o canibalismo e o saprofitismo se instalam.

Quando F/M está nas condições ideais, no meio do reator, as bactérias ficam mais ou menos estáveis no floco, apenas comendo o que alcançam. Já os protozoários e metazoários passeiam para engolir bactérias unicelulares de menor porte. Da alimentação de todos resultarão: redução na carga de DBO do efluente e aumento da população de microrganismos (aumento da concentração de SSV).

Quando F/M se torna muito baixa, acontecem algumas ocorrências desagradáveis e que prejudicam o desempenho do reator e a qualidade do efluente final:

- Morte de parte da população por falta de alimento;
- Crescimento da população de organismos indesejáveis (filamentosas);
- Canibalismo e saprofitismo – embora isso signifique também que o lodo esteja perdendo peso e reduzindo sua geração.

Quando isso ocorre, o operador tem poucas opções:

- Injetar mais F no reator – pouco usual e difícil de ser conseguido, por falta de grandes reservas de alimento (exceto o efluente eventualmente estocado na lagoa de emergência);
- Reduzir M pela retirada de mais biomassa como lodo extraído do sistema.

Em todos os casos, existem restrições – a concentração de SSV na biomassa do reator tem limites superiores e inferiores para manter os flocos com adequadas qualidades; o suprimento de mais F pode não ser possível e mais ainda - tudo o que for feito precisa manter a concentração de oxigênio dissolvido dentro dos limites aceitáveis e requeridos.

Dá então para perceber o porquê eu disse que a vida do operador de estações de lodos ativados não é tão tranquila como muita gente acha que é!

Devo relembrar nossos leitores para o fato de que as relações F/M mostram valores muito diferentes para sistemas de lodo ativado convencionais e aqueles de aeração prolongada.

No caso desses últimos, frente às altas quantidades de M presentes em enormes reatores, teremos duas consequências imediatas: as relações F/M serão bem mais baixas do que as encontradas nos sistemas convencionais; a idade de lodo será bem mais alta que as dos sistemas convencionais. Lembrem-se - esses sistemas são concebidos para maiores rendimentos nos reatores para redução de DBO e DQO, com a estabilização do lodo acontecendo no interior dos próprios reatores biológicos.

A qualidade do alimento oferecido à microbiota também precisa de acompanhamento pelos operadores. Dentre as coisas que os operadores precisam estar atentos em suas observações estão as seguintes:

- ♣ Relação DBO/DQO (biodegradabilidade do efluente);
- ♣ Presença de sulfetos, ácidos graxos voláteis, etc.;
- ♣ Presença de toxicidade (AOX, níveis de compostos oxidantes fortes, salinidade exagerada, etc.).

Com relação à qualidade dos SSV no reator, o operador precisa certamente conhecer suas características biológicas, mas também precisa ficar atento à relação SSV/SST, que indica a proporção de material orgânico biológico em relação aos sólidos totais, inclusive inorgânicos e minerais (íons minerais, areia e argila, cargas utilizadas na fabricação do papel, etc.). Em geral, essa relação varia entre 0,75 a 0,85 – ou seja, aproximadamente 80% dos sólidos totais presentes no reator são orgânicos, constituintes essenciais da microbiologia do lodo e dos flocos.

Alguns operadores preferem operar suas instalações muito mais focados em idade do lodo. Isso ele faz extraindo mais ou menos lodo em função da carga de F que chega ao reator. Entretanto, como vocês já sabem, essas diversas variáveis estão intimamente interligadas, e o reflexo será uma alteração na concentração de SSV no reator, também.

Enfim, esse quebra-cabeça é um jogo de poucas peças, mas todas vitais e interconectadas. Por essa razão é que elas se encaixam bem entre elas.

Há situações onde o operador consegue ter alguma flexibilidade para poder controlar a injeção de oxigênio no reator. Isso pode acontecer por alterações de fluxos de ar, por injeção suplementar de oxigênio de alta concentração (90 a 95%) ou por equipamentos suplementares de aeração que podem ser ligados ou desligados ao comando do operador.

Outras vezes, o operador não tem essas facilidades para controlar o oxigênio e fica a se justificar por problemas na microbiologia da colônia. Posso apostar que muitos desses reclamantes se esquecem de cuidar da limpeza dos bicos injetores ou da manutenção dos aeradores de superfície. Tenho encontrado com frequência aeradores superficiais parados e bicos extremamente entupidos em muitas as auditorias que tenho feito nesse setor.

A quantidade suprida de oxigênio para a população de microrganismos ajuda no controle da relação F/M. Pode-se reduzir F/M injetando mais oxigênio no reator para ativar sua microbiologia. A via de redução de oxigênio pode ser mais arriscada, pois pode causar algum "stress" à colônia de microrganismos, caso a concentração de oxigênio nesse ecossistema baixar demais (menor que 1 ppm).

Quando o operador possui essa flexibilidade de corrigir o oxigênio em uma amplitude mais ampla, ele pode aumentar suas ferramentas de controle do reator e associar isso para seus ajustes da relação F/M. Quando a relação F/M estiver alta, ele pode adicionar mais oxigênio ao reator (ou seletor) e vice-versa. Entretanto, ele precisa ser cauteloso para evitar que aconteçam situações muito críticas como baixa relação F/M e baixa concentração de oxigênio em algum ponto do reator (em geral, ao final). Essa situação é típica para promover o alto desenvolvimento de bactérias filamentosas e destrói a microfauna de protozoários e metazoários.

Os valores mais usuais de adição de oxigênio (oxigenação) em tanques de aeração variam entre:

1 a 1,5 kg O_2 / kg de DBO

1,2 a 2,0 kg O_2 / kg de DBO removida.

Além disso, cabe ao operador ter certeza de que seus aparelhos de medição de oxigênio residual estejam aferidos e dando resultados com credibilidade. Eles jamais poderão ficar navegando às

cegas em relação aos residuais de oxigênio no reator. Afinal não é por outra razão que o reator biológico é também denominado de tanque de aeração. Sua missão é oferecer oxigênio para que os organismos degradem o alimento poluente que desejamos descontaminar dos efluentes. Se pouco oxigênio for oferecido, o reator pode adquirir características até mesmo de anaerobiose.

Tem-se como regra geral se controlar o oxigênio residual para valores acima de 2 ppm no início do reator ou no seletor. Nesse último, podem ser inclusive maiores. Já nas demais partes do reator, objetivam-se valores sempre maiores que 1 ppm, sendo toleradas no máximo algumas ocorrências esporádicas de valores entre 0,5 e 1 ppm, mas nesses casos, ações enérgicas devem ser tomadas de imediato.

Para relações F/M mais altas (acima de 0,5) deve-se trabalhar com concentrações residuais de oxigênio em nível mais alto, até mesmo no meio e no final do reator.

Deve ainda ficar claro que o teor de oxigênio do efluente na saída do reator deve ser suficientemente alto para garantir pelo menos 0,5 ppm de oxigênio presente no fundo do clarificador secundário. Muitas poucas instalações de tratamento biológico se preocupam com isso: acabam perdendo na qualidade do lodo de retorno e também acabam gerando mais lodo, por mais precária estabilização do mesmo.

Essa etapa de estabilização do lodo no clarificador é de muita importância e em geral esquecida e não controlada. Recomenda-se medir o teor de oxigênio residual em alguns pontos do clarificador secundário: média altura, fundo e manta de lodo sendo extraído. Além disso, interessa conhecer a quantidade de DBO livre na manta de lodo sendo estabilizada. Isso se faz coletando amostras, filtrando o material e se determinando a concentração de DBO e DQO e depois a relação DBO/DQO.

Essa relação DBO/DQO pode também ser acompanhada pelas medições de seus valores no efluente filtrado na entrada e na saída do clarificador. Se o lodo ainda estiver faminto no clarificador, ele continuará degradando a DBO livre, mas pouca ação terá sobre a DQO – como resultado, essa relação deverá diminuir. Curioso que os clarificadores secundários são mais vistos por todos como meros decantadores de sólidos suspensos e existe muito pouco acompanhamento do que acontece em termos de sua microbiologia e eficiências na estabilização do lodo. O clarificador também tem seu papel na degradação de DBO poluente, em continuidade ao que acontece no reator biológico. O clarificador não é um reator biológico,

mas ele pode dar um polimento final ao efluente, mesmo em termos de redução de DBO, além é claro, da redução de sólidos suspensos.

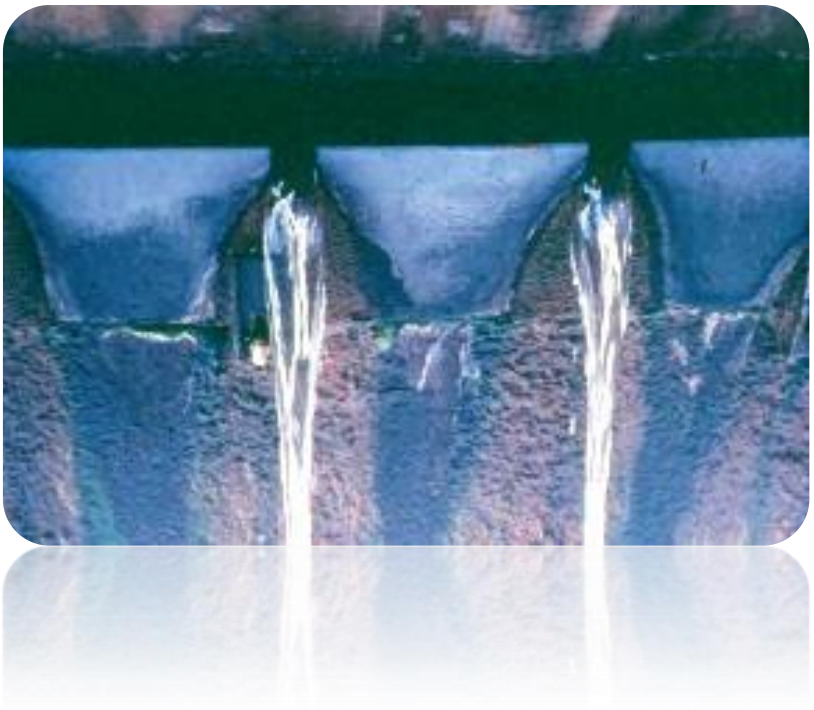
As demandas de oxigênio pelo efluente e pelo lodo são função de:

- Massa de microrganismos (M);
- Quantidade de alimento fornecido ao reator (F);
- Relação F/M;
- Idade do lodo;
- Teor de nitrogênio amoniacal (demanda nitrogenada de oxigênio para nitrificação)

O oxigênio pode ser suprido pelo turbilhonamento realizado na superfície do reator por aeradores/agitadores de superfície que têm como missão adicionar bolhas de ar à massa líquida (sistemas de aeradores superficiais). Além dessa maneira comum de aeração, existem os sistemas de injetores/dispersores de fundo, cada vez mais implantados em sistemas modernos pela sua alta eficiência.

A alta agitação também tem a missão de impedir que os flocos se decantem ao fundo do tanque de aeração e percam sua característica de sólidos suspensos. Também oportuniza que os flocos recebam oxigênio e que esse oxigênio fique disponível aos microrganismos. Se os flocos se compactassem no fundo do aerador toda a estrutura dos flocos estaria comprometida e a oferta de oxigênio aos microrganismos seria muitíssimo diminuída. Em resumo, o tratamento perderia um de seus conceitos básicos, que seria a manutenção da suspensão dos flocos dentro do reator.

No caso de utilização de apenas injetores de oxigênio de alta pureza, o reator costuma ser fechado para impedir fugas de oxigênio para a atmosfera. Nesses reatores também se costuma trabalhar com relações F/M maiores, o que permite aperfeiçoar as dimensões desses reatores.



Acredito que após essas discussões simples (e até mesmo repetitivas para fixação de conceitos) apresentadas nessa seção, talvez tenha ficado claro que:

- ✓ A missão do operador é vital para altos desempenhos e eficiências do sistema biológico de lodos ativados;

- ✓ Existem limitações e variáveis críticas que exigem que o operador tenha um excelente conhecimento teórico e possa acompanhar e interferir no monitoramento adequado das operações;

- ✓ Sem a participação integral de toda a fábrica, a área de tratamento de efluentes dificilmente corresponderia às expectativas de alto desempenho, mesmo que se tenham gastos fortunas para sua engenharia e construção.

Uma estação de tratamento de efluentes necessita de estabilidade e continuidade operacional – como as demais áreas da fábrica. Só que ela depende de seres vivos atuando biotecnologicamente, enquanto as demais áreas se fundamentam em gerenciar substâncias químicas e materiais inertes.

Quanto mais as áreas setoriais contribuírem para um efluente bruto estável e de qualidade adequada, melhor será a eficiência do tratamento biológico e menores serão os custos envolvidos nessas

operações. As flutuações de custos (para mais) ocorrem por adições adicionais de nutrientes e polímeros, remoção exagerada de lodo, multas, uso de cloro para eliminar bactérias filamentosas, etc., etc.

Acredito também que na maioria das empresas, essa sistemática de se promover uma íntima integração entre os operadores de áreas críticas geradoras de efluentes com os operadores da ETE é ainda muito pouco praticada. Algumas áreas operacionais são tão críticas por seus impactos na qualidade e quantidade de efluentes que elas deveriam ter um canal direto de comunicação com a estação de tratamento de efluentes. Outra coisa que me surpreende é a pouca expressão da participação do pessoal da ETE nas reuniões diárias de produção – esse pessoal quase sempre está ausente ou costuma ser representado pela chefia da área de gestão ambiental, que está mais preocupada com as não conformidades ISO do que com a microbiologia, vitalidade e desempenho do tratamento biológico.

Para que vocês possam sentir a importância desse acompanhamento e dessa integração, vejam só que tipos de alterações setoriais costumam atrapalhar o bom desempenho do sistema biológico de tratar efluentes:

- Elevações nas cargas de agentes branqueadores ou nas temperaturas de estágios de branqueamento na tentativa de elevar a alvura da polpa ou de recuperar a alvura perdida no processo fabril. Os residuais desses produtos são extremamente perigosos pelo impacto que podem causar na microbiota. Idem para as mais altas temperaturas.

- Mudanças de temperatura e de cargas orgânicas em filtrados de lavagens ou de condensados.

- Mudanças no número kappa da polpa a branquear, o que significa maior ou menor quantidade de lignina a ser extraída para os efluentes do branqueamento.

- Alterações de tipos de produtos com transições entre cada produto, muito comum em fábricas de papel.

- Deficiências operacionais causadas por ausência de manutenções em lavadores de polpas, sistemas de evaporação, colunas de destilação de condensados, etc.

- Lançamento pontual de cinzas da caldeira de recuperação em efluente que será encaminhado ao tratamento biológico.

- Lançamento de águas sépticas originadas de recalques da lagoa de emergência ou de chorume ou percolados de aterros industriais, cuja qualidade sequer tenha sido avaliada.

- Lançamento de águas sujas resultantes de lavagens de sistemas ("boiling outs" em máquina de papel, sistema de evaporação, etc.).

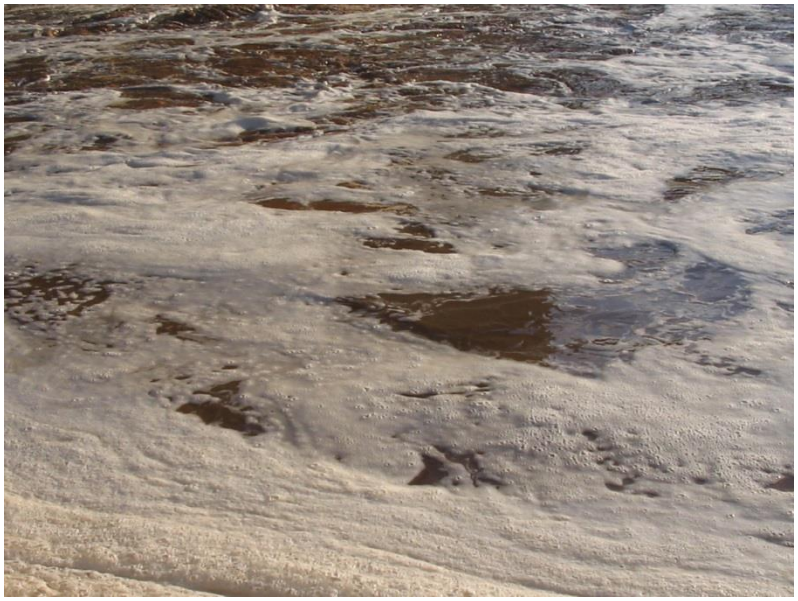
- Lançamento de efluentes setoriais ricos em surfactantes, microbicidas, óleos e graxas, polímeros, etc.

- Etc., etc.

Voltaremos a falar sobre esse tipo de situação mais adiante ainda nesse capítulo, quando tocarmos no ponto dos mandamentos da gestão.

==========

UTILIZAÇÃO DE SELETOR BIOLÓGICO COMO ETAPA PRÉVIA DO TRATAMENTO DE AERAÇÃO



Os seletores biológicos são tanques de aeração de alta eficiência colocados antes de o efluente entrar no reator biológico propriamente dito. Consistem então na primeira unidade do processo biológico, cuja função é misturar muito bem o efluente bruto com lodo ativado de retorno, ao mesmo tempo em que se adiciona oxigênio através de um aerador submerso de alta carga e eficiência para dispersão das bolhas no meio líquido.

Objetiva-se com isso:

- Melhorar a mistura do lodo reciclado com o efluente bruto sendo injetado como alimento ao processo;

- Reduzir a relação F/M de forma rápida;

- Evitar o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis ao tratamento;

- Melhorar a sedimentabilidade do lodo no clarificador secundário.

Em geral, tenta-se remover de forma rápida a matéria orgânica prontamente metabolizável, materiais sépticos e outros

tipos de alimentos que possam originar crescimentos excessivos de bactérias que apreciem essas substâncias (*Zooglea*, filamentosas, etc.).

Um seletor pode receber todo o fluxo de efluente que vai entrar no sistema ou apenas a parte problemática dele, atuando como uma espécie de "kidney" (rim purificador) para tratamentos localizados e prévios. Por exemplo, efluentes sépticos de baixo fluxo e alta carga podem ser previamente oxidados biologicamente e de forma controlada em um seletor, antes de serem enviados ao reator biológico.

Pelo grande fornecimento de oxigênio, promove-se uma atividade microbiológica intensa dentro do seletor e a redução da relação F/M é rápida e efetiva. Deve-se tomar o cuidado de não se degradar demais a matéria orgânica e se deixar F/M em valores tão baixos que a alimentação no reator diminua muito. A colônia microbiológica no reator é grande e precisa de alimento – essa atenção é vital. Curiosamente, poucas empresas que possuem seletores biológicos fazem avaliação da relação F/M na saída do seletor, como forma de controlar a injeção de oxigênio. Portanto, ainda que os seletores sejam muito importantes para controle da população de *Zooglea* e de bactérias filamentosas, se eles forem mal utilizados, podem trazer problemas e não soluções. Isso porque se a relação F/M no final do reator se tornar muito baixa, isso pode estimular a que as bactérias filamentosas ali se desenvolvam.

Em geral, um seletor bem desenhado e operado promove a redução da DBO em cerca de 60 a 75%. Quando essa redução for muito maior que isso, a operação precisará ser ajustada. Isso se consegue ou pelo controle da injeção de oxigênio, ou pelo ajuste na concentração de SSV no seletor. Entretanto, como a saída do seletor é a entrada do reator biológico, mudar na concentração de SSV no seletor afetará esse tipo de concentração no reator, pois esses equipamentos estão instalados como vasos comunicantes.

Em sistemas de lodo ativado com aeração prolongada, a relação F/M pode atingir valores abaixo de 0,01 ao final do reator biológico. Se essa relação baixa estiver causando problemas, podem-se considerar ajustes no seletor, até mesmo em seu tamanho (uso de menor capacidade ou de menos câmaras do mesmo). O tempo de retenção do efluente em seletores varia entre 1 a 3 horas. Como os seletores são constituídos por câmaras, podem-se engenheirá-los de forma a que se possa eleger com quantas câmaras se deseja trabalhar. Com isso, além da taxa de oxigenação e da concentração de SSV, poder-se-á também ajustar o tempo de retenção/detenção hidráulica do efluente no seletor.

Os seletores têm também como função estimular e favorecer o crescimento das bactérias formadoras de flocos, para que depois no reator, os flocos se desenvolvam de acordo com o que se espera deles. Também não favorecem o crescimento exagerado de bactérias filamentosas – sua missão principal. Com isso permitem ajustes nas populações da microbiota de maneira mais controlada e seletiva.

Seletores biológicos têm como vantagens:

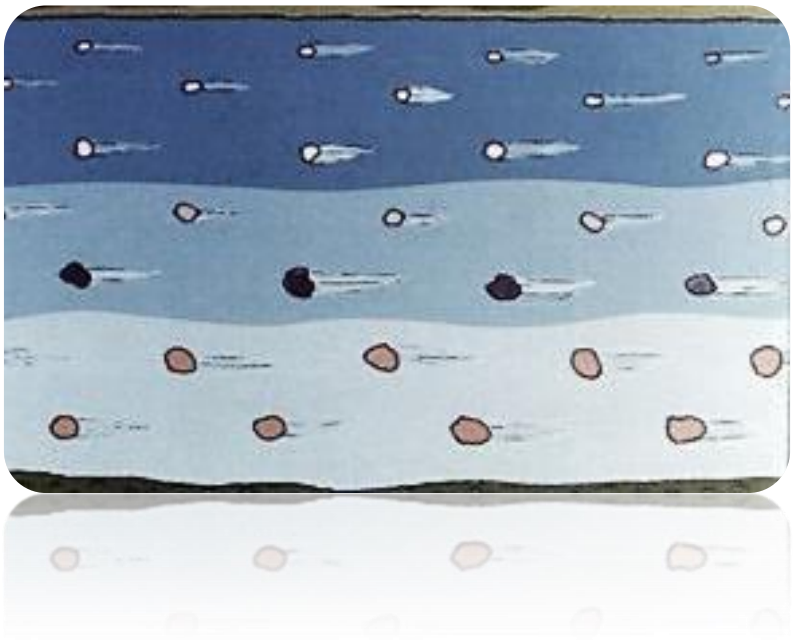
- Possibilidades de atuação rápida e drástica sobre a relação F/M;
- Promoção de grande crescimento da microbiota e de forma seletiva quanto aos seus componentes;
- Melhor mistura do lodo reciclado ao efluente, já que o lodo é a fonte de SSV para o efluente bruto que entra no sistema biológico;
- Maior resistência do sistema a choques com respeito aos alimentos (variações de quantidade de F);
- Altas remoções de DBO e DQO;
- Entrega ao reator biológico de um material mais apropriado para ser "polido" e convertido em um efluente final mais limpo, menos turvo e com menor teor de sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis;
- Maior redução total dos contaminantes DBO e DQO (ganhos de 2 a 5% na eficiência global da ETE na sua efetividade biológica são relatados).

A etapa subsequente, que seria o reator biológico, pode atuar então como um polidor biotecnológico do efluente. O seletor permite se chegar ao reator com uma F/M mais estabilizada e com uma microbiota mais saudável.

Tendo em vista o exposto, fica evidente que um controle mais efetivo do desempenho do seletor biológico pode e deve ser feito. As variáveis críticas que podem ser avaliadas seriam:

- Relação F/M (entrada e saída do seletor);
- Tempo de retenção/detenção hidráulica no seletor e verificar a possibilidade de desvios de câmaras;

- Carga e concentração residual de oxigênio;
- Taxa de redução de DBO;
- Taxa de redução de DQO;
- Taxa de degradação de AGV's e de outras substâncias facilmente metabolizáveis (polissacarídeos, ácido acético, etc.);
- Eficiência da destruição de compostos tóxicos (AOX, etc.);
- População de bactérias filamentosas e de *Zooglea*;
- IVL – Índice Volumétrico de lodo do material na saída do seletor (para observar evidências da população microbiológica).



Sólidos suspensos a gerenciar

As sugestões e os desafios estão lançados. Caso tenham ou venham a instalar um seletor biológico, espero que essa seção do nosso capítulo atual possa ter sido útil. Não se assustem com o trabalho adicional que deve ser feito – com mais evidências e conhecimentos, simplifica-se muito a necessidade de trabalhos custosos e feitos às pressas nas ocasiões de problemas graves no sistema biológico.

==========

A DECANTAÇÃO DO LODO BIOLÓGICO

Apesar de termos lhes mostrado o papel vital do reator biológico para biodegradar os constituintes orgânicos da poluição hídrica, o sistema de tratamento por lodos ativados possui outra etapa crítica a ser gerenciada. É a clarificação do efluente, que consiste na separação da fase líquida (efluente tratado biologicamente) da fase sólida (lodo, em sua maior parte constituído por flocos biológicos, corpos de organismos dispersos, substâncias extracelulares e elementos minerais).

A clarificação do efluente é realizada usualmente em clarificadores circulares de alto desempenho, capazes de remover muito eficientemente os sólidos suspensos presentes no efluente que sai do reator biológico, após a oxidação biológica intensa que lá ocorreu. O sucesso desse decantador ou clarificador depende da boa estrutura, morfologia e densidade dos flocos. Após a decantação, parte desse lodo é extraída para fora do sistema e parte é reciclada ao reator biológico.

Caso a decantação de sólidos esteja deficiente por alguma razão, podemos ter duas situações características:

- Alta turbidez no efluente: indicativa da presença de sólidos suspensos finamente divididos mantidos flutuando no corpo do efluente, sem forças ou sem pesos capazes de afundá-los. Apesar de não decantarem ao fundo ou não flutuarem na superfície do efluente, são sólidos por isso mesmo ditos suspensos - eles trazem inúmeros problemas de atingimento de especificações e de enquadramento nas restrições legais.

- Alta quantidade de lodo flutuando na superfície do clarificador e muitas partículas seguindo junto com o efluente tratado, prejudicando sua qualidade (aumento enorme em seu conteúdo de sólidos sedimentáveis em Cone de Imhoff).

Em ambos os casos, teremos enormes problemas associados a parâmetros qualitativos dos efluentes, como: cor aparente, turbidez, DBO e DQO.

Toda vez que houver arrastes de sólidos suspensos, sejam eles partículas finas ou grandes, teremos problemas sérios com a qualidade final do efluente. As principais ocorrências de sólidos suspensos são indicativas de:

- Sub-capacidade do clarificador;

- Lodo filamentoso intumescido;

- Crescimento disperso de microrganismos;

- Micro-flocos ou "pin flocs";

- Ocorrência de formação de espumas biológicas (desnitrificação ou proliferação de *Nocardia*, as quais arrastam partículas para a superfície do clarificador);

- Lodo viscoso zoogleal.

Portanto, a maioria dos problemas de ineficiência na decantação de lodo está associada à natureza e desempenho da microbiota e dos tipos de flocos formados (ou parcialmente formados). Outras vezes, essas ocorrências se devem à decomposição de compostos orgânicos (nitrogenados ou polissacarídicos) que geram espumas e bolhas ascendentes no clarificador. A decomposição anaeróbica em clarificadores é uma dessas causas, com bolhas de metano subindo a toda hora para a superfície do clarificador, indicando que o oxigênio, tantas vezes

recomendado que estivesse em níveis adequados no clarificador, se acabou.

Clarificadores ou decantadores são equipamentos de separação da fase sólida da fase líquida e se baseiam na força da gravidade para atrair para baixo os flocos biológicos, que devem ser densos e pesados. Com isso, forma-se uma manta de lodo no fundo do decantador, sendo que essa precisa ser continuamente removida. Da mesma forma, o efluente tratado sai de forma contínua pela superfície do clarificador. Se tudo estiver conforme, o efluente sai límpido e não se notam sólidos na superfície do clarificador.

A manta de lodo adensado tem dois destinos principais:

- Reciclo de lodo à entrada do reator biológico ou do seletor biológico, como semente ou inóculo;

- Adensamento e prensagem para destinação como resíduo sólido.

Temos praticamente todo um capítulo do Eucalyptus Online book mostrando as possibilidades de utilização também desse lodo biológico que é removido como resíduo em fábricas de celulose e papel. Ficarei honrado se me derem o privilégio da leitura do mesmo em:

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 03: Lodos & lodos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 20. 191 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT20_LODOS.pdf

As funções fundamentais de um clarificador secundário são as seguintes:

- Continuidade da estabilização do lodo, que consiste na extensão das reações de oxidação biológica pela microbiota ainda presente e ativa nesse lodo. Essa estabilização do lodo permite a redução na geração de lodo a descartar. Para que isso possa acontecer há que se ter oxigênio dissolvido na manta de lodo e esses valores precisam estar acima de 0,5 ppm. Nem sempre isso costuma ser medido e muitos operadores sequer têm consciência dessa necessidade e desse papel dos clarificadores. Para muitos, o clarificador existe apenas para remoção de lodo, e pronto!

- Separação da maior parte possível de sólidos suspensos que está presente na massa de efluente.

- Adensamento inicial do lodo em forma de manta no fundo do clarificador, oferecendo que o líquido extraído esteja mais rico em teor de sólidos.

- Armazenamento de sólidos suspensos no próprio clarificador. Entretanto, esse armazenamento deve ser por curto espaço de tempo, já que podem acontecer reações de anaerobiose, reações de desnitrificação e reações de septicidade. De qualquer maneira, os clarificadores secundários conseguem manter em seu interior significativas quantidades de sólidos suspensos, guardando-os até que seja o momento em que cada uma dessas partículas seja removida para fora desse equipamento.

São comuns os problemas de mau desempenho de clarificadores secundários. As imperfeições operacionais mais frequentes e que causam problemas na decantação de sólidos são as seguintes:

- ✓ Concentração variável dos SST do efluente que entra no clarificador;

- ✓ Sobrecarga em SST;

- ✓ Concentração exagerada da manta de lodo que precisa ser extraída de maneira contínua na parte de baixo do clarificador;

- ✓ Inadequação na capacidade hidráulica do clarificador (envio maior de efluente do que o clarificador possa receber em função de sua capacidade de projeto);

- ✓ Deficiências no sistema de remoção de lodo;

- ✓ Deficiências no sistema de adensamento de lodo;

- ✓ Fluxos irregulares na alimentação do clarificador ou na bipartição do efluente em clarificadores trabalhando em paralelo;

- ✓ Estruturas desalinhadas do clarificador;

- ✓ Trancamento (travamento) do clarificador;

- ✓ Excesso de sólidos suspensos flutuantes (não sedimentáveis), que recebe a denominação genérica de "bulking" do lodo;

- ✓ Liberação de gases do fundo do clarificador (nitrogênio, metano, cloro, etc.);

- ✓ Espumas devido excesso de surfactantes, espumas biológicas, etc.

As principais ocorrências de "bulking" são de três tipos, como já visto anteriormente:

- ➢ Lodo intumescido filamentoso, causado por bactérias filamentosas;

- ➢ Lodo zoogleal viscoso, causado pela grande quantidade de substâncias poliméricas extracelulares produzidas pela população exagerada de *Zooglea ramigera*.

- ➢ Lodo disperso, causado pela alta proporção de flocos dispersos com baixa sedimentabilidade ("pin flocs"). Os "pin flocs" estão quase sempre associados a: toxicidade, quebra exagerada de flocos e baixíssimas relações F/M.

Em geral, toda vez que aparecem problemas na decantação de sólidos suspensos do efluente, os operadores entram em pânico e partem para diversas ações simultâneas, todas de natureza remediativa. As mais comuns estão ligadas a custos altos com adição de muito polímero ou floculante. Tentam desesperadamente flocular ou adensar quimicamente um floco que deveria já estar adensado por atuação natural, sem necessidade de custos extras.

Acontece que esses polímeros e floculantes colocados no clarificador acabam voltando para o reator biológico com o lodo de reciclo – portanto, podem minimizar o problema no clarificador, mas trazerem outros problemas no reator biológico. Se as causas de flotação de lodo já tivessem sido de origem biológica, com os distúrbios oferecidos agora com floculantes e polímeros dentro do reator, a situação pode ficar totalmente fora de controle.

Entendemos os problemas e os pesadelos dos operadores – porém, a primeira coisa que qualquer operador deve fazer é estar atento para indicadores que possam prevenir a que esses problemas aconteçam. *Depois que a doença tomou conta, fica difícil se eliminar a mesma, sem causar outros tipos de danos ao processo*.

Apesar de os controles de tempo de residência nos clarificadores não serem muito elásticos, os operadores podem eventualmente tentar essa alternativa para buscar solucionar o problema na microbiologia e não através de uso de remédios químicos de alto impacto. Isso implicaria em reduções de ritmos de produção, mas se reduzem ritmos em fábricas de celulose e papel por tantas razões, então porque não também o fazê-lo por razões biotecnológicas. E tentar aprender com isso, para evitar que aconteça de novo!

Os operadores também precisam ficar atentos em alguns indicadores que possam lhes ajudar nas operações dos clarificadores secundários. Existem indicadores associados à qualidade da microbiologia responsável pela formação dos flocos e aos próprios indicadores que caracterizam os flocos (tamanho, cor, sedimentação, etc.).

Os principais indicadores operacionais para ajustes e controles na operação dos clarificadores secundários são os seguintes:

Taxa de Escoamento Superficial

Calculada pela relação entre o fluxo de entrada de efluente pela área útil superficial do clarificador (m^3/dia : m^2 = m^3/m^2.dia)

Esses valores se relacionam à concentração de SST alimentados ao clarificador:

Concentração em SST	**Taxa de Escoamento Superficial**
< 3.000 ppm	36 m^3/m^2.dia
3.000 a 4.500 ppm	24 m^3/m^2.dia
> 4.500 ppm	16 m^3/m^2.dia

Tempo de Retenção ou Detenção Hidráulica

Corresponde ao tempo em que o efluente permanece no clarificador entre sua entrada e saída, podendo variar entre 1,5 a 4 horas.

Taxa de Aplicação de Sólidos

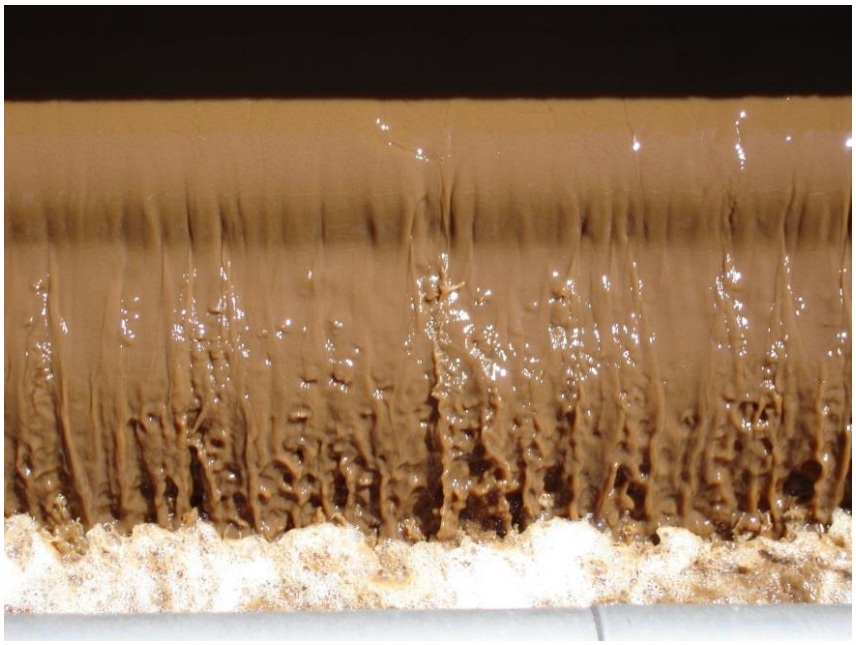
Corresponde à quantidade média de sólidos que pode ser aplicada por área superficial do clarificador.

Quantidade Sólidos (em kg SST/dia) = (Vazão Efluente, em m³/dia) x (Concentração SST, em kg SST/m³)

Área superficial clarificador = m²

TAS (em kg SST/m².dia) = (Quantidade Sólidos) / (Área Superficial)

A recomendação dos especialistas é que esse indicador não ultrapasse 120 a 140 kg SST/m².dia, porém isso é apenas um valor referencial genérico. Cada clarificador tem seus conceitos e seus dados de engenharia que precisam ser conhecidos pelo operador.



Além dessas variáveis típicas de engenharia conceitual dos clarificadores, o operador também foca seus olhos em três outros importantes parâmetros de controle:

Resíduos Sedimentáveis

Volume de lodo que decanta em uma hora em Cone de Imhoff, a partir de amostra colhida na saída do reator biológico (que será a alimentação do clarificador).

Os valores usuais estão entre 300 a 600 ml/L, indicando que os melhores desempenhos serão atingidos pelos lodos que mostrem valores menores – com decantação mais rápida.

Sólidos Sedimentáveis

Teste similar ao anterior, mas executado em amostra coletada na saída do efluente que foi purificado em sólidos suspensos no clarificador. Deve ser menor que 1 ml/L para atender aos requisitos legais.

IVL – Índice Volumétrico de Lodo

Já definido anteriormente, mas sempre vale a pena relembrar:

IVL é o volume de 1 grama de lodo que decanta em trinta minutos em um frasco em condições adequadas de ensaio de sedimentação (http://www.youtube.com/watch?v=GTLKoGGo0dM). A amostra deve ser coletada na saída do reator biológico, após passar por qualquer tipo de cachoeira de saída. Isso para corresponder exatamente ao material que o clarificador secundário receberá para tratar.

O método sugere que se trabalhem com concentrações próximas a 3,5 g/L de SST no efluente. Isso, porém, nem sempre é obedecido, pois a própria correção da concentração pode quebrar flocos. Além disso, por ser um teste rotineiro e rápido, o operador não costuma dedicar tempo para esses ajustes finos.

Observem mais uma vez as recomendações para valores de IVL:

≤ 100 ml/g – excelente decantação – "operadores felizes"

Entre 100 a 150 ml/g – razoável decantação –"operadores em atenção"

> 150 ml/g e < 200 ml/L – decantação ruim - "operadores preocupados"

> 220 ml/g – praticamente sem decantação – "operadores vivendo o pior dos mundos"

Observem que os valores máximos do teste estão entre 280 a 290 ml/g, valores que seriam obtidos se não houvesse decantação alguma de uma suspensão com 3.500 ppm de SST (3,5 g/L).

IVL máximo = 1000 ml / 3,5 = 287 ml/g

Os principais fatores operacionais relacionados aos valores de IVL são:

→ Microbiologia do lodo;

→ Idade do lodo (lodos mais velhos costumam decantar mais facilmente, enquanto lodos jovens são relativamente volumosos devido ao fato de que os flocos não estão ainda bem adensados);

→ Relação F/M, que por sua vez se associa à presença de bactérias filamentosas na parte externa do floco;

→ Concentração de SSV (ou de SST) no líquido a decantar, que por sua vez se relaciona à idade do lodo e à taxa de reciclo de lodo.

Para melhor entendimento desses temas, sugiro a leitura de alguns textos e palestras que merecem a atenção de vocês pelas contribuições que podem lhes oferecer:

Troubleshooting the causes of bulking sludge. D. Wagoner. North Carolina AWWA-WEA Spring Conference. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2010)

http://www.ncsafewater.org/Pics/Training/SpringFling/SC2010/SC10Presentations/WW.Monday.PM.0130.Wagoner.pdf (em Inglês)

Lodos ativados. Vivendi Water Systems Brazil. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.slidefinder.net/p/processo_nitrifica%C3%A7%C3%A3o/32342344

Lodos ativados. Manual de operação. Acqua Engenharia e Consultoria. 27 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.acquaeng.com.br/wp-content/uploads/2010/01/manuallodosativados1.pdf

Tratamento de esgotos sanitários. R.P. Piveli. 71 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/APOSTILA%20-%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTOS.pdf

Introdução ao tratamento de esgotos. E. Marçal Júnior. Curso de Tratamento de Esgoto. Empresa de Engenharia Ambiental. 235 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.eea.eng.br/novosite/downloads/Apostila%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.pdf

==========

RECICLO DO LODO BIOLÓGICO PARA O TANQUE DE AERAÇÃO

A reciclagem ou retorno de lodo para o interior do reator biológico como semente ou inóculo consiste em um dos princípios fundamentais para o sucesso do sistema de tratamento por lodos ativados. O objetivo desse retorno é aumentar a população microbiológica no reator para maximizar a ação de biodegradação dos poluentes orgânicos.

O retorno de lodo aumenta a sua idade, atuando no processo de forma a deixar cada partícula de lodo muito mais tempo no tanque de aeração. Se não houvesse retorno de lodo, tanto não haveria inóculo inicial como todos os flocos acabariam extraídos e eliminados do processo como resíduos sólidos. Ter-se-ia que criar um sistema de inoculação artificial no processo, buscando semente microbiológica exógena.

A reciclagem do lodo se baseia na velocidade diferenciada entre o que se adiciona de semente ao reator e o que se retira dele como resíduo. O conceito é ir se elevando a população microbiológica no reator até se atingir máxima eficiência, e depois disso, manter a população efetiva, só se extraindo o excedente microbiológico, que seria o incremento que aconteceu por reprodução.

Para que o conceito funcione, o lodo que retorna ao reator deve ser ativo, vivo, faminto por alimento. Ele deve ser retirado para reciclagem logo na saída do clarificador secundário, parcialmente estabilizado, mas antes de ser enviado para outros sistemas de estabilização e adensamento complementares. Isso para que ele tenha pouca quantidade de DBO livre, e por isso mesmo, esteja faminto por alimento. Sua consistência varia entre 0,7 a 1,5%, portanto, é ainda um líquido bastante fluído, apesar de ser denominado de lodo.

A reciclagem do lodo tem então as seguintes finalidades:

- Servir de inóculo de microrganismos para o efluente a ser tratado biologicamente;
- Manter alta a concentração de SSV no interior do reator ou do seletor biológico;
- Permitir correções na relação F/M;
- Manter a idade do lodo maior que o tempo de detenção hidráulica.

Com isso, a fase sólida de biomassa dentro do reator permanece muito mais tempo do que o efluente no interior do mesmo.

A taxa de retorno de lodo é um indicador simples relacionando o fluxo de lodo retornado pelo fluxo de efluente primário e equalizado que adentram juntos ao reator ou seletor.

TRL = 100 x (Vazão lodo reciclado / Vazão de efluente bruto ao reator)

Essa taxa varia entre 25 a 150%, porém, existem limites para uma excessiva ou muito pequena reciclagem. Se a taxa de retorno for mantida muito alta por longos períodos de tempo, teremos um aumento exagerado na concentração de SSV no reator. Também ocorrerá uma sobrecarga de sólidos ao clarificador secundário, que terá que trabalhar demais e muito mais rapidamente (menor tempo de detenção hidráulica) para manter uma alta circulação de lodo no sistema.

Quando os lodos retornam demais, eles vão ficando velhos e saciados, perdem o apetite por DBO livre. Isso ocorre porque existirá muita presença de DBO livre no próprio lodo para servir ainda de alimento aos microrganismos, já que a estabilização que ocorre no clarificador secundário ficará comprometida. Como o lodo passa rapidamente no clarificador para já voltar ao reator, a estabilização requerida que aconteceria no primeiro acaba sendo deficiente, sendo que o lodo é extraído ainda com muito alimento em sua constituição. Por isso, ele não tem tanto interesse em se dedicar ao novo alimento que lhe será oferecido pelo efluente bruto.

Em oposição, quando a taxa de recirculação de lodo é muito baixa, o lodo terá muito tempo dentro do clarificador secundário para se estabilizar. Ele perderá peso, efetividade e atividade. Isso porque morrerão células e seres vivos por falta de alimento e por terem sido estimuladas ações de canibalismo e saprofitismo.

Enfim amigos, as coisas que acontecem em uma ETE não são apenas hidráulicas e serem gerenciadas apenas se ligando ou desligando bombas. Há muito mais coisas envolvidas no processo e que precisam ser muito bem entendidas pelos operadores.

==========

Desafios Operacionais

REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE LODO

Lodo para ser extraído do sistema e descartado como resíduo sólido

Os excedentes de lodo biológico que são extraídos do sistema podem ser descartados em aterros industriais, compostados em estações de reciclagem de resíduos sólidos, ou incinerados em caldeiras de força ou de biomassa. Esses lodos, mesmo após prensagem, são ricos em umidade, já que são resistentes à extração de água. Por ser de natureza muito higroscópica, a consistência desse lodo, seja prensado ou centrifugado, raramente ultrapassa 25%, sendo na maioria das vezes inferior a 20%. Isso significa que cada tonelada de lodo equivalente a 100% seco tem seu peso aumentado de 4 a 5 vezes pela quantidade de água que carrega. Por essa razão, há intenso interesse nas fábricas e nas academias em desenvolver processos biológicos que resultem em menor geração de lodo na sua operação.

O manuseio e o descarte de lodo biológico agrega muito custo na ETE, mesmo quando se utiliza o lodo para alguma finalidade que não seja aterro. O lodo não é um bom combustível por ser muito úmido e tampouco a compostagem consegue resultar em produtos valiosos que cubram seus custos de produção e resultem lucros positivos. Pior ainda é quando o lodo é aterrado a valores econômicos elevadíssimos para abertura e licenciamento de aterros, bem como para manejo, manuseio e monitoramento indefinidamente por ser um passivo ambiental.

Há, por isso mesmo, forte interesse em se desenvolverem processos com mecanismos que possam causar degradação adicional do lodo, com redução de peso seco de lodo sendo gerado. Também, ao se criarem sistemas inovativos que desaguem mais o lodo, pelo menos teremos como resultado menores pesos de lodo úmido a manusear e dispor.

Algumas alterações processuais têm sido sugeridas que consistem em: modificações nos sistemas, adição de bioestimulantes ou alterações na microbiologia do lodo. A meta, de forma geral, se fixa na possiblidade de aumentar a estabilização do lodo – ou seja, que o lodo possa servir de alimento a microrganismos mais especializados para sua decomposição durante o processo de estabilização. Ou então, que a estabilização possa ser prolongada e mais efetiva.

Em geral, temos dois fenômenos antagônicos acontecendo. Ao mesmo tempo em que queremos uma colônia de microrganismos mais efetiva para redução adicional da DBO e da DQO, aumentando assim a sua população, queremos que o lodo gerado para ser extraído desse processo seja em menores quantidades.

Atualmente e para os processos de lodos ativados atuando em fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto, temos gerações de lodo biológico que variam entre 3,5 a 10 kg de lodo a descartar (base seca) por tonelada de celulose branqueada seca ao ar. Isso em função do fato que temos uma geração entre 0,25 a 0,50 kg de lodo por kg de DBO removida do efluente sendo tratado.

Dessa forma, a primeira e mais simples maneira de se reduzir a quantidade de lodo gerado seria pela redução das perdas orgânicas de material dissolvido em efluentes setoriais ao longo do processo. Com menos poluição a tratar, menor será a geração de lodo. Simples, não é mesmo? Como se pode conseguir isso: fechamento de circuitos, recirculação de águas contaminadas, etc., etc.

No sistema de tratamento de efluentes, a ação mais simples seria investir em sistemas efetivos de estabilização do lodo, ou seja, na fase onde o lodo acaba servindo de alimento para sua própria microbiota. Talvez se tenha que investir em desenvolver microrganismos específicos para esse tipo de atuação para com eles se produzir uma bioaumentação da microbiota que possa atuar nesse processo de decomposição.

A estabilização do lodo pode ser medida pela relação SSV/SST no próprio lodo. Quando o lodo está bem estabilizado, essa relação é menor que 0,65 – o que significa que parte importante da matéria

orgânica do lodo se decompôs para gás carbônico e água por decomposição biológica. Quando o lodo está ainda com bastante apetite e pouco estabilizado, essa relação costuma estar entre 0,70 a 0,85. Os lodos estabilizados por sistemas atuais e efetivos de estabilização resultam em relações entre 0,6 a 0,7.

Durante os processos atualmente sendo praticados no setor de celulose e papel, a sistema de lodos ativados por aeração prolongada é uma das tecnologias mais reconhecidas por gerar menos lodo base seca. Ele se caracteriza também por maiores taxas de decomposição da DBO e da DQO do efluente sendo tratado.

A aeração prolongada tem como princípio aumentar a idade do lodo de forma tal que o próprio lodo iniciará uma ação canibalística ao final de sua longa permanência no tanque de aeração. Essa estabilização se complementaria no clarificador secundário.

A estabilização adequada do lodo é outra maneira tecnológica que se dispõe para redução da quantidade de lodo sendo gerado – e que deverá ser extraído e descartado. A estabilização pode acontecer em diferentes fases do processo:

- No reator biológico, em sistemas de aeração prolongada;
- No clarificador secundário, desde que existam residuais adequados de oxigênio;
- Em tanques de estabilização especialmente desenhados para tal.

Tradicionalmente, o lodo é estabilizado para reduzir substâncias ainda facilmente comestíveis do floco (DBO livre e substâncias extracelulares e citoplasmáticas liberadas por morte de organismos). A estabilização não deve ir muito além, porque o lodo a ser reciclado precisa ter organismos vivos e "ter apetite" por DBO.

Entretanto, quando o objetivo é reduzir peso seco de lodo, essa estabilização precisa ir muito além do que se obtém hoje. É preciso que o canibalismo seja incentivado, mas não sobre todo o lodo, mas apenas sobre o lodo a ser extraído. É por isso que existe interesse em se desenvolver sistemas externos mais efetivos de estabilização do lodo. Essa biodeterioração poderia ser aeróbica (com injeção de ar ou de oxigênio) ou anaeróbica (interessante e barata, com geração complementar de metano).

Biorreatores anaeróbicos com produção de biogás seriam uma interessante forma de se fazer isso. O biogás poderia ser utilizado

como combustível na própria fábrica (como energético suplementar na matriz energética do forno de cal, por exemplo).

Atualmente, as alternativas para redução de peso de lodo que existem são de baixa eficiência:

- ψ Maior prensagem ou desaguamento de lodo para redução de seu peso úmido. Isso é muito interessante no caso de se usar a técnica de incineração do lodo como forma de se dar cabo de sua existência como resíduo sólido.

- ψ Redução na geração de lodo em processo de bioxidação no reator (aeração prolongada);

- ψ Maior estabilização do lodo no clarificador biológico;

- ψ Maior efetividade da estabilização do lodo extraído para descarte em sistemas especialmente desenhados e construídos para que essa estabilização melhorada.

- ψ Maior controle sobre a qualidade do efluente a tratar, por ação energética sobre os efluentes setoriais, de maneira a reduzir quantidades de DBO e DQO e também de compostos tóxicos nos mesmos (por exemplo: menor geração de formaldeído, diclorometano, metanol, dioxinas e furanos, etc.)

Existem atualmente diversos novos sistemas sendo estudados e pesquisados com a finalidade de aumentar a biodegradação do lodo, reduzindo assim sua geração. Em todos os casos, o lodo não pode ser alterado de maneira que impeça seu retorno eficiente como inóculo ou semente no reator biológico. Essa degradação ou alteração na qualidade do lodo poderia então acontecer de acordo com algumas rotas tecnológicas:

- φ Só no lodo que será descartado (extraído);

- φ Dentro do reator biológico através de modificações no metabolismo dos microrganismos para que degradem a matéria orgânica formando menos massa corporal (que acaba por se converter em lodo).

<u>Rota tecnológica: Interior do reator</u>

A condição básica é que qualquer alteração que venha a acontecer no metabolismo não deverá afetar a eficiência de redução

de DBO e DQO. Caso se favoreça ainda mais a biodegradação, ela será bem-vinda. Entretanto, se prejudicar, ela não deverá ser implementada, a menos que essa situação se reverta. Também, as características de lodo para reciclagem interna ao reator devem ser mantidas ou melhoradas.

As pesquisas mais alvissareiras estão concentradas em adição de bioestimulantes ao desenvolvimento microbiológico. Dentre esses aditivos, destacam-se dois grupos:

- Ácido fólico (vitamina B7), que atuaria na respiração microbiológica, convertendo mais material orgânico em gás carbônico e água do que em corpos de microrganismos.

- Inibidores da fosforilação oxidativa: afeta a geração de ATP e acelera o metabolismo, promovendo maior aceleração endógena da matéria orgânica que serve de alimento aos microrganismos. Dentre esses compostos inibidores estão sendo estudados: para-nitrofenol, pentaclorofenol e tetracloro salicilanida.

A utilização de aditivos tem-se mostrado cara e necessita ser contínua e sem interrupções, já que os microrganismos não sabem produzir esses compostos sendo adicionados. Além disso, desconhecem-se ainda os efeitos ambientais de alguns desses bioestimulantes nos corpos receptores e em sua micro-vida. Portanto, são necessários ainda muitos estudos complementares antes dessas técnicas se converterem em sucesso comercial.

<u>Rota tecnológica: Pós-tratamento do lodo extraído</u>

Existem diversas alternativas, algumas imediatas, outras mais complexas e exigindo mais estudos de otimização e de viabilização.

- *Imediatas*: prensagem, desaguamento, centrifugação, estabilização adicional, etc.;

- *Em avaliações*:

  - Oxidação do lodo por meios oxidativos: ozonização, oxigênio nascente, etc.;

  - Degradação biológica do lodo em biorreatores anaeróbicos para produção de biogás e bio-hidrogênio.

Existem inúmeros estudos buscando avaliar essas novas rotas tecnológicas, mas alguns artigos de revisão que procuram apresentar algumas dessas tendências são aqueles a seguir referenciados para sua leitura:

Reducing production of excess activated sludge in bleached kraft pulp mill effluent treatment. T.V. Stoppa; A.H. Mounteer; P.H.G. Alves; F.H.C. Gomes. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Reducao_lodo.pdf (em Inglês)

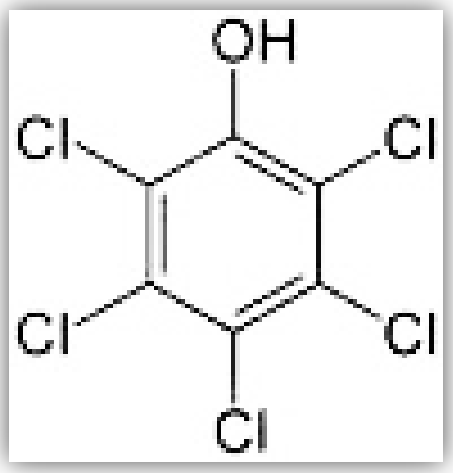
Estratégias para a redução da produção de lodo em processo de lodo ativado. (Estudo de caso). A.N. Ponesi. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 15 pp. (2005)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-002.pdf

==========

Desafios Operacionais

DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA RECALCITRANTE



Pentaclorofenol

A matéria orgânica recalcitrante é a fração da DQO que tem dificuldades ou mesmo impossibilidades de ser biodegradada por meio do sistema de tratamento biológico. Eventualmente, em condições naturais ou mesmo nos reatores biológicos, por longos períodos de tempo, alguma fração desse material possa sofrer alguma deterioração, porém isso não costuma acontecer nas condições práticas operacionais.

Há alguns poluentes orgânicos que são muito difíceis de serem biodeteriorados, por isso mesmo são denominados de POP's – Poluentes Orgânicos Persistentes. Como praticamente eles não sofrem deterioração, acabam se acumulando em sedimentos e em tecidos animais e vegetais, se ingeridos ou absorvidos.

Grande parte dos compostos recalcitrantes é formada no branqueamento da celulose, porém também existem compostos recalcitrantes entre os próprios extrativos da madeira (polifenóis e ácidos resínicos), que acabam sendo solubilizados para efluentes na área de lavagem de toras e no pátio de madeira.

Em geral, a matéria orgânica recalcitrante é constituída de compostos orgânicos de lignina parcialmente clorada com alto peso molecular (maior do que 1.000 gramas por Mole.Grama). A própria dimensão da molécula já torna difícil o trabalho de degradação pelos microrganismos. Isso porque é um alimento muito grande para os

seres que habitam os reatores biológicos, em sua maioria, seres unicelulares.

Quando a molécula é não metabolizável apenas pelo seu tamanho, no longo prazo, ela acabaria sendo biodeteriorada (diz-se então que ela seria mais persistente, mas não tóxica). Outras vezes, parte da molécula grande pode servir de alimento, mas outra parte clorada acaba tornando-se indigesta ou problemática para a saúde dos microrganismos, que a rejeitam. Esses compostos ou fragmentos tóxicos de matéria orgânica costumam estarem presentes no conteúdo analisado de AOX do efluente do branqueamento e também podem estar relacionados à cor escura do mesmo.

O efluente enviado para tratamento é na verdade uma rica mistura de inúmeros compostos orgânicos, sendo que a sua maioria é de lignina ou de carboidratos modificados (oxidados, clorados, reduzidos, etc.). Quase sempre, os fragmentos de baixa massa molecular são resultados da decomposição de carboidratos (açúcares simples, dímeros, oligômeros, álcoois, aldeídos, etc.). Esse material é energético e facilmente biodegradado.

Já os fragmentos de lignina costumam ser de maior peso molecular (são mais difíceis de serem degradados, até mesmo pelos compostos químicos agressivos do branqueamento e da polpação).

Dessa forma, quanto maior o nível de dificuldades na biodegradabilidade, mais importante é se adaptar a microbiota a esse tipo de alimento. Alterações processuais nas fábricas podem alterar a qualidade do alimento, tornando-o mais ou menos recalcitrante. Por exemplo, quando se trabalha com polpa de eucalipto com número kappa 11 para enviar ao branqueamento tende a se ter muito mais geração de recalcitrância do que quando se trabalha com polpas com número kappa menor que 9. Por outro lado, no caso de fábricas de celulose não branqueada, a recalcitrância é bem menor, uma vez que a lignina é não clorada e sua dificuldade de biodegradação se deve apenas às dimensões dos fragmentos da molécula.

A relação DBO/DQO do efluente filtrado dá uma excelente indicação do nível de recalcitrância da matéria orgânica presente no mesmo. Deve-se eliminar nessa avaliação a interferência de sólidos suspensos orgânicos como fibras, fibrilas e finos celulósicos, já que esses materiais não fazem parte do cardápio dos microrganismos.

Por essas causas, em efluentes a tratar de fábricas de celulose, a relação DBO/DQO pode variar desde 0,4 a 0,8 – conforme o grau de recalcitrância dos seus constituintes.

No efluente secundário tratado e decantado, que já passou por um tratamento biológico, a relação DBO/DQO costuma variar entre 0,05 a 0,15 - indicando que já não existe muito mais a biodegradar biologicamente nesse tipo de efluente.

A matéria orgânica recalcitrante está contida na DQO e não na DBO. Ela é a parte orgânica da DQO que não é atacada biologicamente por sua baixa adequabilidade como fonte de alimentos ou porque é tóxica à microbiota.

É muito importante se conhecer a constituição dos compostos dessa matéria orgânica e a sua biodegradabilidade. Existem testes simples para se avaliar a facilidade de biodeterioração dos constituintes orgânicos do efluente. O mais simples deles é a realização do ensaio de DBO, variando de 1 a 7 o número de dias de residência do teste. Com isso, pode-se observar a evolução do consumo dos alimentos mais facilmente metabolizáveis pela microbiota e também se notar qual a proporção dos mais difíceis de biodegradar. Há casos onde a biodegradação é tão lenta, que mesmo 7 dias são insuficientes para a decomposição biológica. Com isso, mesmo se deixando mais dias, a DBO praticamente não se altera por causa da alta recalcitrância – porém a DQO se mantém a mesma.

Também é importante se conhecer que nem todo AOX é recalcitrante. A redução de AOX no reator biológico costuma variar entre 40 a 60%, demonstrando que mesmo moléculas cloradas acabam sendo eliminadas pelo tratamento biológico. Afinal, o cloreto é um íon abundante na natureza, sendo conhecido mesmo pelos seres de água doce.

As partes cloradas das moléculas e que são difíceis de biodegradar acabam sendo rejeitadas pelos organismos porque não existe muita familiaridade dos mesmos em ter essas substâncias como alimentos. Caso se deseje aumentar essa biodegradabilidade, é possível se estabelecer um programa de adaptação da microbiota em ter organismos especializados para maior biodeterioração desses materiais. Isso pode ser feito através de seleção de organismos e não há necessidade de se usar de engenharia genética para essa adequação, embora isso também possa ser feito. Sugiro não se usar organismos geneticamente modificados para não se colocar mais um nível de preocupação na opinião pública.

Os ensaios de DBO são comumente expressos como DBO_5, o que significa que o teste preconiza que a biodeterioração seja realizada em 5 dias. Quando levamos a carga de DBO para ser diodegradada em um reator, temos em geral reduções de DBO entre 85 a 95%. Isso significa que uma parte da DBO não foi removida dentro do reator biológico, quando o fora no ensaio de DBO. Essa

fração não removida ocorre mesmo em sistemas com aeração prolongada e com eficiente estabilização do lodo – sempre sobra algum DBO livre sem ser degradado.

No reator biológico existe ampla variedade de compostos sendo oferecidos como alimento para os microrganismos:

- Oligossacarídeos degradados das hemiceluloses;
- Oligossacarídeos originados da molécula de celulose;
- Ácidos orgânicos formados pela oxidação das moléculas de fragmentos da lignina e carboidratos;
- Compostos fenólicos derivados da degradação da lignina;
- Compostos de baixo peso molecular, mas de relativa toxicidade por suas características cloradas (clorofórmio, pentaclorofenol, diclorofenol, dioxinas e furanos, etc.);
- Compostos clorados de fragmentos de maior peso molecular originados de lignina e de extrativos;
- Compostos neutros, sem toxicidade, mas de enormes dimensões e pouco apetecíveis aos microrganismos.

Evidentemente, os microrganismos atacam preferencialmente os compostos mais fáceis de serem metabolizados, deixando os mais difíceis para serem comidos mais tarde. Mesmo depois, muitos microrganismos preferem se alimentar de substâncias celulares de seus colegas mortos do que de compostos de difícil biodegradação. É por essa razão que nem toda DBO presente em F é comida pela microbiota. Sempre acaba sobrando alimento residual sem ser degradado, mesmo que esses compostos não sejam recalcitrantes. Desde que não sejam preferenciais no cardápio da microbiota, eles vão sendo deixados de lado no processo de alimentação.

Entre os compostos menos apreciados pela microbiota estão: compostos de baixo peso molecular derivados de extrativos da madeira, compostos voláteis presentes em condensados da evaporação, etc.

Existem diversas estratégias sendo propostas para o ataque mais efetivo da matéria orgânica de maior recalcitrância. Em geral, são preconizados dois tipos de conceitos:

- Quebras de moléculas de maior dimensão para torná-las apetecíveis;

- Eliminação química das moléculas recalcitrantes de baixo peso molecular. Essa eliminação pode ser feita antes ou depois do reator biológico e se vale do uso de oxidantes químicos fortes como o ozônio e o peróxido de hidrogênio. O cloro poderia também fazer esse papel, porém pode gerar a formação de organoclorados, por isso é contraindicado.

A pós-oxidação só seria recomendada nos casos onde o tratamento biológico não tivesse capacidade suficiente para trazer o efluente final aos níveis legislados de DBO e DQO. Como as multas e as ameaças de autuação da fábrica pela entidade controladora são preocupantes, a empresa pode eventualmente optar por uma alternativa mais cara e assim passar a oxidar quimicamente seu efluente final.

O tratamento oxidante mais comum é feito com ozônio, que precisa ser gerado na própria planta industrial. Seu consumo deve ser imediato em função de sua curta vida, mas os resultados são rápidos e efetivos. Como benefício adicional à redução da DBO e da DQO, temos também uma drástica redução da cor do efluente tratado.

O ozônio é muito eficiente para atacar moléculas de pequeno peso molecular, ou seja, moléculas componentes da DBO prontamente metabolizável. Seu efeito sobre a DQO recalcitrante existe, porém parte da carga de ozônio pode ser consumida por moléculas que o próprio tratamento biológico daria conta de destruir. Por isso, o ozônio é mais indicado para pós-tratamento, onde já é bem menor a quantidade de compostos orgânicos ainda presentes no efluente tratado. Oxidações radicais desse efluente acabam sendo onerosas, mas às vezes, necessárias.

Definitivamente, a ozonização é uma prática viável, comprovada e conhecida. Ela permite reduções em DBO, DQO e cor dos efluentes, mas seu uso tem sido observado mais em situações extremas, onde a empresa enxerga ameaças em função de sua incapacidade de tratar os efluentes aos níveis exigidos por processos tradicionais. Tão logo a empresa conseguir otimizar ou ampliar seu tratamento biológico, é provável que ela venha a descontinuar a ozonização.

Uma missão muito desejável da ozonização é a redução da cor escura de efluentes, questão que pode se tornar relevante para algumas empresas. Mesmo que a DBO e DQO estejam adequadas frente às restrições legais, quando a cor não estiver conforme, a pós-ozonização é uma alternativa a ser considerada. Muitas vezes, ela é

mais barata e menos complexa do que um tratamento terciário como a clarifloculação com sulfato de alumínio, ou outro floculante de alto desempenho.

A ozonização tem sido testada também para pré-tratamento do efluente, que seria encaminhado para o reator biológico. Ela teria nesses casos, o objetivo de atacar a DQO de alto peso molecular, convertendo-a em alimento mais apetecível para a microbiota. Acontece que parte do ozônio acaba sendo consumido por poluentes que seriam naturalmente degradados pela microbiota no reator biológico. Em situações como essa, como se reduz a oferta de matéria orgânica facilmente degradável pelo pré-ataque do ozônio, é até possível que o rendimento em redução de DBO possa ser diminuído no reator biológico, ao se considerar valores de entrada e saída de DBO no reator. Portanto, esse tipo de tratamento merece um estudo bem cauteloso e detalhado antes de ser implementado. Apesar dessas restrições, a pré-ozonização tem sido relativamente usada em plantas industriais, conforme relatos na literatura técnica.

Um tipo de tratamento bastante promissor para a destruição da matéria orgânica recalcitrante tem sido a fotocatálise heterogênea com radiação ultravioleta catalisada por dióxido de titânio. Existem diversos estudos técnicos relatados na literatura global, mas ainda não é uma tecnologia plenamente dominada, economicamente vantajosa e popular.

Tratar efluentes representa geração de custos sem retorno financeiro

==========

Desafios Operacionais

RESOLVENDO OU PREVENINDO A GERAÇÃO DO LODO INTUMESCIDO ("SLUDGE BULKING")

"Bulking" ou lodo intumescido

A maior praga que ataca uma ETE pelo sistema de lodos ativados é a subida de flocos e de agregados de lodo para a superfície do clarificador. Como a saída do efluente é exatamente pela superfície, através de canaletas laterais de escoamento, haverá grande arraste de partículas de lodo sendo retiradas como contaminação ao efluente. Com isso, a quantidade de sólidos suspensos cresce exponencialmente no efluente, da mesma forma que sua turbidez, cor, DBO e DQO. Por incrível que possa parecer, embora existam milhares de instalações operando pelo sistema de lodos ativados e com inúmeros artigos de investigação publicados sobre o tema, o arraste de lodo para o efluente é algo absolutamente corriqueiro e frequente.

A principal causa para esse fenômeno é a falta de um acompanhamento mais adequado das operações, já que o "bulking" é algo que começa a surgir aos poucos, para depois crescer e tomar dimensões magnificadas. Assim, sendo, a detecção precoce do problema pode ajudar a que sejam tomadas medidas mitigadoras e preventivas para evitar que esse problema adquira dimensões alarmantes.

O acompanhamento para prevenção do surgimento do "bulking" se faz através de duas avaliações muito simples:

- Monitoramento do IVL – Índice Volumétrico de Lodo, avaliando a decantabilidade dos flocos de lodo do efluente na saída do reator biológico;

- Avaliação microbiológica do lodo com a finalidade de identificar as diferentes populações microbiológicas e quais as possíveis tendências de crescimento das espécies consideradas perigosas, por estarem relacionadas a algum tipo de "bulking".

Identificar as causas raízes para a má formação do floco e para a perda de decantabilidade do lodo é algo vital para um eficiente controle operacional. Infelizmente, muitas empresas ainda possuem ineficiências para a execução de um teste tão simples como o IVL - não que não o façam, mas cometem erros analíticos graves em sua determinação.

Outras estações de tratamento de efluentes até que compram um microscópio para que seus operadores possam observar o lodo no mesmo. Entretanto, amigos, muitas pessoas podem olhar, mas não conseguem enxergar exatamente o que está acontecendo, por não terem qualificação para isso. Isso só se adquire com muita experiência e treinamento – desenvolve-se com o tempo e com exemplos práticos de associação causa/efeito.

Outras vezes, a causa da má formação do floco não é microbiológica, mas sim operacional, como consequência de:

- Alto turbilhonamento na aeração dentro do reator, com quebra de flocos;

- Cachoeiras no caminho dos flocos, que servem para quebra dos mesmos;

- Arranjos operacionais inadequados;

- Lodo muito jovem;

- Oxigenação instável;

- Desnitrificação e elevação de flocos pelas bolhas de nitrogênio que sobem para a superfície do clarificador;

- Variações operacionais bruscas;

- Toxicidade de algum efluente setorial afetando a microbiota;

- Etc.

Qualquer instalação de tratamento biológico que queira operar com alto desempenho precisa ter operadores muito bem treinados. Não se deve acreditar que a simples contratação de um serviço externo para avaliações microbiológicas ocasionais seja suficiente. Muitas vezes, os resultados chegam muito depois de o problema ter desaparecido, às vezes, *misteriosamente*! O microscópio e a avaliação microbiológica devem estar operando diariamente para que sejam efetivos.

Afinal, porque a microbiologia é tão importante para se detectar precocemente o intumescimento do lodo? A causa é muito simples – as condições operacionais de natureza física ou mecânica não são permanentes, são facilmente corrigidas pelos operadores. Já os problemas microbiológicos criam pesadelos enormes e são de mais longa duração. Esses problemas extrapolam a geografia da ETE e se propagam para a fábrica toda, estando associados a perdas de produção, reduções de ritmos operacionais, necessidade de se parar a fábrica para limpezas e também reprogramações fabris para a reabilitação da microbiota.

Existem quatro tipos de problemas microbiológicos que na prática são denominados de "bulking", porém um deles, o chamado "bulking" filamentoso é o mais crítico, perigoso e frequente. Na vida diária, qualquer sistema de lodos ativados pode ser impactado pelos seguintes tipos de intumescimento de lodo ou de flutuação de partículas no corpo do efluente que sai do clarificador secundário:

- Ω Lodo filamentoso: causado pelo crescimento exagerado de bactérias filamentosas, as quais formam uma cabeleira de filamentos na superfície do floco, que se projeta para fora e impede que o floco se adense ou se agregue mais com outras partículas.

- Ω Lodo ou "bulking" zoogleal, viscoso ou polissacarídico: causado pela excessiva produção de uma massa extracelular rica em polissacarídeos que tem natureza gelatinosa e viscosa, impedindo que ocorra o adensamento de flocos. Em geral, são consequências de desequilíbrios nutricionais para a microbiologia do lodo (por exemplo: carências de nitrogênio, ou de fósforo, ou de ambos). Isso acaba por impedir que ocorra a degradação desses polissacarídeos e substâncias poliméricas extracelulares pela microbiota.

- Ω Lodo ou "bulking" disperso: causado pela exagerada frequência de flocos pequenos, praticamente isentos de filamentosas para formar o esqueleto do floco. Existe nessa situação uma grande quantidade de organismos dispersos na massa líquida e que não conseguem se agrupar em flocos. Quase sempre o "bulking" disperso se associa à aeração excessiva, quebra de flocos ou toxicidade no efluente. Essa toxicidade impede o crescimento das bactérias e as que sobrevivem não conseguem se agrupar de forma conveniente para a formação de flocos grandes, pesados e consistentes. A consequência imediata é o aumento da concentração de SST, cor e turbidez no efluente que sai do clarificador secundário. O crescimento disperso sem formação de flocos também pode se dever à baixa idade do lodo, presença de algum oxidante forte residual (peróxido de hidrogênio ou dióxido de cloro), formação de espuma devido a surfactantes ou desnitrificação, temperatura elevada demais matando parte da microbiota, etc.

- Ω "Pin flocs" ou flocos pequenos: o excesso de flocos pequenos, que causam os mesmos problemas do lodo disperso, pode estar associado à falta de alimento (baixa relação F/M) ou a quebras de flocos por efeitos mecânicos inadequados na ETE: aeração excessiva, cachoeiras para veiculação do lodo, bombeamento com agitação exagerada, etc.

Muitas das ocorrências de lodo disperso ou de formação de flocos pequenos sequer são notadas por muitos operadores de ETE's, que acostumam a operar suas instalações produzindo flocos pequenos e de difícil sedimentabilidade. Isso é comum onde as restrições legais não são tão apertadas para turbidez, SST e cor do efluente. Ou em caso de empresas que tenham ainda um tratamento terciário por clarificação com sulfato de alumínio, quando o tratamento subsequente consegue remover as imperfeições deixadas pelo tratamento secundário – mas isso tem um preço, que não é barato em razão de maior consumo de um floculante caro e problemático.

Existem também empresas que possuem grandes lagoas para polimento do efluente antes dele ser lançado ao corpo receptor – elas conseguem minimizar a ocorrência de sólidos suspensos no efluente no lançamento ao rio, mas estarão rapidamente causando sérios problemas de assoreamento dessas lagoas, com enormes custos para sua limpeza posterior. As lagoas entupidas de lodo (e mal cheirosas) passam então a serem os pesadelos da vez dos técnicos da fábrica.

Floco com ampla predominância de bactérias filamentosas em seu exterior

Existem diversas situações que favorecem o crescimento de bactérias filamentosas. Em verdade, existem diversos gêneros e espécies de filamentosas e cada qual tem seu desenvolvimento associado a condições específicas. De maneira geral, as bactérias filamentosas conseguem crescer bem mesmo em condições de baixa relação F/M, já que são mais especializadas para encontrar a DBO livre, em função de sua maior área superficial. Portanto, mesmo que os alimentos estejam disponíveis em pequenas quantidades no meio, elas conseguem dar um jeito de encontrá-los para se alimentarem. Em situações de muito baixos valores de F/M (abaixo de 0,02) já teremos que nos precaver e antecipar a situações com excesso de bactérias filamentosas. Isso pode acontecer em especial em sistemas de aeração prolongada, que necessariamente são concebidos para trabalhar com baixos valores de F/M.

Baixos valores de F/M significam excesso de microrganismos (M) para pouca comida disponível (F). Como a maioria dos microrganismos não suporta baixa oferta de alimentos, as filamentosas ocupam espaço na microbiota, crescem em população e se tornam dominantes na microbiologia do lodo.

Existem outras situações para a predominância de bactérias filamentosas, quase sempre associadas ao regime alimentar e às condições do meio. Com a finalidade de auxiliar na identificação dos

problemas relacionados ao "bulking" filamentoso, eu lhes preparei uma tabela, a qual procura associar o microrganismo filamentoso dominante com as condições do meio que propiciam o seu maior desenvolvimento:

Característica do Meio	Organismos Filamentosos Dominantes
Baixa relação F/M	*Nocardia sp* *Microthrix parvicela*
Alimentos prontamente metabolizáveis (ácidos graxos voláteis, açúcares simples, ácido acético, amido, etc.)	*Nostocoida limicola* *Thiothrix sp*
Carência nutricional de N e/ou P	*Thiothrix sp* *Nostocoida limicola*
Alto teor de sulfetos e de gás sulfídrico (decomposição anaeróbica e septicidade)	*Nostocoida limicola* *Thiothrix sp* *Beggiatoa sp*
Alta presença de septicidade e de esgotos cloacais em estado de putrefação	*Nostocoida limicola*
Baixo oxigênio dissolvido	*Sphaerotilus natans*
Baixo pH	Fungos

Existem duas maneiras para se mitigar ou resolver os problemas causados pelo intumescimento do lodo:

- Agir sobre as causas raízes:
    - Correção de nutrientes;
    - Controle do pH;
    - Aeração;
    - Redução da septicidade;
    - Reduzir a oferta de alimentos prontamente metabolizáveis;
    - Corrigir F/M;
    - Reduzir geração de espuma (desnitrificação ou residuais de surfactantes).

- Controlar as consequências:
    - Desinfecção do lodo para redução da população bacteriana filamentosa (usando cloro, hipoclorito de sódio ou peróxido de hidrogênio);
    - Uso de polímeros ou de floculantes para agregar o floco de lodo de maneira química, favorecendo seu adensamento e decantação;
    - Construção de um seletor para ajustes na constituição da microbiota de forma a controlar a morfologia do floco através de um controle mais acurado da oxigenação e da relação F/M.

Sabe-se que as soluções mais adequadas implicam em se atacarem as causas raízes e não se usar métodos remediativos de curta e custosa atuação. Entretanto, "no calor da disputa" com as filamentosas, os técnicos na maioria das vezes conseguem ter um aumento em seu ódio tão grande pelas filamentosas que só se acalmam com um produto microbicida forte para aniquilar seu

excesso. Por essa razão que a cloração (uso de cloro), hipocloração (uso de hipoclorito de sódio), peroxidação (uso de peróxido de hidrogênio) ou ozonização (uso do ozônio) são tão populares em aplicações sobre o lodo de reciclo.

Acontece que a desinfecção não é específica apenas para atuar sobre as filamentosas. Ela aniquila ou afeta também as bactérias formadoras de flocos, os protozoários, os metazoários, etc. Também os floculantes e polímeros afetam os demais organismos, já que formam adensados de microrganismos, colocando-os empacotados de maneira química e não natural.

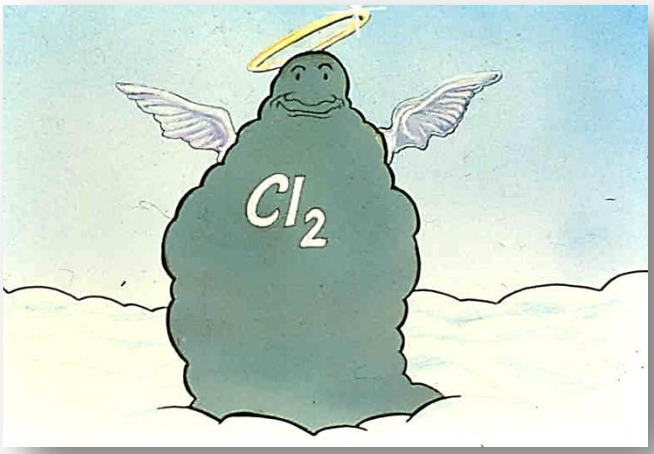
Por essas razões, mesmo que se adotem tratamentos de choque para controlar o problema, deve-se ter consciência de que esses tratamentos têm efeito temporário e se forem retirados sem solucionar as causas raízes, tudo voltará para as condições de reaparecimento do indesejável "bulking". Por exemplo, se tivermos crescimento de bactérias filamentosas causadas pela presença de substâncias sépticas no efluente, poderemos reduzir essa população de filamentosas pelo uso de um agente oxidante forte. Porém, se não retirarmos a septicidade do efluente, tão logo paremos com o uso do oxidante, as bactérias filamentosas retornarão vitoriosas. Portanto amigos, temos que aplicar dois tipos de remédios – o de curto prazo (microbicida) e o de mais longo prazo (eliminação das causas raízes).

Existem diversas chaves taxonômicas na web, escritas por autores renomados e com excepcionais qualidades. Com isso, pode-se facilmente identificar quais as espécies de filamentosas estão ocorrendo e associar com as possíveis causas raízes para o fenômeno. Diversos desses textos estão mostrados em nossa seção de referências bibliográficas. Leiam os mesmos, imprimam as orientações a cores para permitir melhores identificações e divirtam-se, melhorando suas avaliações do sistema onde atuam. É algo que espero que possa acontecer com aqueles que enfrentam esse tipo de problema, que só pode ser resolvido com ciência e não com chutometria. A biotecnologia ambiental está na web para lhes ajudar – aproveitem.

==========

Desafios Operacionais

REDUÇÃO DA POPULAÇÃO DE BACTÉRIAS FILAMENTOSAS PELA DESINFECÇÃO OXIDANTE



A desinfecção com cloro de lodos de retorno ao reator para tentar resolver problemas de intumescimento filamentoso tem sido a maneira mais usualmente praticada em inúmeras instalações industriais e de saneamento ambiental. Embora se conheçam as limitações e as consequências negativas desse tratamento de desinfecção sobre a microbiota desejável no sistema biológico, ela é adotada por ser mais barata e de rápida efetividade. O cloro e o hipoclorito de sódio são agentes bactericidas fortíssimos e muito conhecidos pela sociedade. Já são consagrados nos tratamentos de água potável, portanto, nada mais natural que surgissem com popularidade nas estações de tratamento de efluentes, também.

O hipoclorito, apesar de mais caro do que o cloro elementar, tem sido até mais frequentemente utilizado. Isso porque é mais fácil e seguro para ser aplicado e não demanda nenhuma instalação mais sofisticada para ser injetado na suspensão de lodo. Não forma gases tóxicos nos ambientes circunvizinhos e as dosagens são mais facilmente controladas. É claro, também tem seu nível de periculosidade e forma (da mesma maneira que o cloro) compostos organoclorados nos efluentes. Entretanto, se a aplicação tiver continuidade temporal longa, é muito mais barato se aplicar o cloro, justificando plenamente uma instalação adequada para sua injeção no sistema.

Deve-se clorar apenas a fração de lodo que retorna ao reator biológico, exatamente a que servirá de inóculo ou semente no reator.

Fica difícil entender como que um *lodo semente* possa ser desinfetado e se desempenhar bem nessa função. Afinal, o objetivo do inóculo, como o nome sugere, é inserir uma população ativa de microrganismos para que ela possa se reproduzir e restaurar as necessidades em microbiologia no interior do reator.

A dosagem de cloro ativo e o sistema de mistura do mesmo ao lodo devem ser muito qualificados para que a desinfecção aconteça apenas na superfície do floco, mas não em seu interior. Deve-se matar a cabeleira externa de bactérias filamentosas, mas não afetar as filamentosas que formam o esqueleto do floco e as demais bactérias formadoras do floco (e que estão em seu interior).

Após a cloração, deve-se avaliar a integridade do floco e usar técnicas para identificar se as bactérias filamentosas superficiais e externas ao floco são cadáveres ou se ainda existe uma população viva e abundante dentre esses filamentos.

A avaliação microbiológica do lodo clorado ajuda muito a identificar se houve algum ataque excedente ao que deveria acontecer – e que deveria ser na dosagem exata. Tratamentos insuficientes ou exagerados são desaconselháveis. Vejam que as coisas não são fáceis – há que se ter enorme cuidado e acompanhamento dessa operação de desinfecção.

Tudo começa tentando entender o que aconteceu nas cabeleiras de bactérias filamentosas que estão presentes na superfície do floco – se estão vivas ou mortas. Isso se nota através de alguns indícios ao microscópio:

- Deformações e retrações nos corpos das bactérias filamentosas;
- Contrações do citoplasma;
- Perda dos grânulos intracelulares de enxofre;
- Falta de mobilidade dos filamentos (cadáveres não possuem mobilidade ativa);

A outra importante observação a ser feita seria na integridade do interior do floco. Deve ser olhada a presença de protozoários e metazoários, seguida da observação da mobilidade das bactérias. Também é necessário se avaliar se as bactérias filamentosas que formam o esqueleto dos flocos estão vivas ou se seus corpos estão atacados, contraídos, retraídos ou imóveis. É possível ainda tentar a

identificação das bactérias filamentosas do interior do floco. A presença de *Nocardia* é interessante (tipicamente de esqueleto de floco), mas a de *Nostocoida limicola* não (tipicamente de lodo intumescido).

Caso o cloro ou o hipoclorito sejam mal utilizados e aplicados indevidamente, eles destruirão o floco e matarão mais organismos do que deveriam. O lodo pode se tornar até mesmo estéril.

Para verificar se o lodo desinfetado foi afetado como semente, podem-se realizar testes de DBO usando-o como inóculo, em comparação com os inóculos geralmente em utilização no laboratório. Se esse lodo se desempenhar pobremente, ficará claro que ele foi danificado pelo tratamento.

Reciclar lodos danificados é um desperdício de energia e de ecoeficiência. Estaremos apenas circulando uma carga morta e ineficiente para o reator biológico. Nessas condições, o lodo de retorno seria mais um alimento para seres saprofíticos do que uma semente inoculadora ao sistema. Por isso mesmo, digo e repito: a desinfecção precisa ser feita com cautela e com intenso acompanhamento microbiológico.

A dosagem de cloro ativo precisa ser muito bem estabelecida e depois controlada. Deve-se começar com baixas dosagens e se ir aumentando aos poucos, até o nível de melhor desempenho na função – ou de menores níveis de malvadezas aos outros organismos desejáveis ao sistema. No caso do hipoclorito de sódio, a aplicação deve ser calculada base cloro ativo, sendo que as soluções comerciais de hipoclorito possuem concentrações em cloro ativo variando entre 5 a 12%. Essa baixa concentração e a necessidade de se ter que usar soda cáustica para se produzir a solução de hipoclorito encarem muito esse tipo de tratamento em relação ao com cloro gasoso.

A dosagem de cloro ativo costuma estar entre 2 a 6 kg por tonelada de SSV. O cálculo é feito com base no total de SSV no reator biológico e não sobre o lodo de retorno – em caso de sistemas com aeração prolongada, o consumo de cloro ativo se torna bastante elevado, pela grande quantidade de lodo no reator. Para um reator biológico que contenha em seu interior 100 toneladas equivalentes secas de SSV, o consumo diário de cloro ativo pode variar entre 200 a 600 kg. Em termos de uma solução de hipoclorito a 10%, o consumo seria então algo entre 2 a 6 toneladas da solução.

A cloração ou a hipocloração podem ser realizadas em diferentes pontos do sistema, desde que oportunizem a melhor mistura possível do lodo com o oxidante. As mais comuns costumam acontecer em:

- No lodo de retorno (a mais comum, pois atua sobre o inóculo que está rico em filamentosas e que poderia ser uma semente negativa ao sistema);

- No tanque de aeração (menos comum, pelos altos volumes envolvidos);

- Em um "loop" especialmente construído para ficar continuamente retirando, clorando e devolvendo suspensão de efluente clorado ao reator biológico ou ao seletor;

- Em um ponto de injeção no fundo e no centro do clarificador secundário (pouco indicado, pois se estará clorando lodo que não será recirculado).

O cloro não tem especificidade alguma. Ele clora qualquer tipo de material orgânico, seja na forma de microrganismos ou de DBO e DQO no efluente. Por essa razão, nunca se deve adicionar o cloro desinfetante em um ponto onde as concentrações de DBO e DQO sejam elevadas. Também não se deve fazer a injeção onde a população de microrganismos favoráveis seja elevada e a de filamentosas, não. É por essas e outras razões que o reciclo de lodo é o ponto preferido de oxidação química.

Mesmo se aplicando sobre o lodo de retorno, quando esse lodo chega ao reator biológico, ainda existe certa concentração de cloro ativo residual. Por isso, deve-se manter atenção e controle sobre a saúde microbiológica do sistema todo, em especial nos seguintes pontos:

- No lodo de retorno ingressando no reator biológico;

- Na saída do seletor (quando for o caso);

- No meio e no final do reator biológico.

Deve-se exercer monitoramento e procurar evidências de:

- Queda da população de microrganismos favoráveis (protozoários, metazoários, bactérias formadoras de flocos, etc.);

- Geração de organoclorados tóxicos (ecotoxicidade do efluente);

- Indícios de supercloração;

- Ω Indícios de cloração insuficiente;

- Ω Consumo de cloro por outros compostos presentes e que possuem apetite por oxidantes (sulfetos, DBO livre, amônia, compostos sépticos, etc.);

- Ω Alterações na turbidez, SST e sólidos sedimentáveis do efluente clarificado;

- Ω Alterações no IVL na direção favorável à que se busca com a desinfecção (devem-se atingir rapidamente valores abaixo de 150 para IVL para evidenciar que as coisas estão funcionando ou começando a funcionar);

- Ω Alterações na eficiência de redução da DBO e DQO do tratamento biológico;

- Ω Aparecimento de lodo disperso demonstrando indícios de toxicidade (troca de um problema para outro);

- Ω Alterações na relação SSV/SST na biomassa do reator biológico e do clarificador secundário.

Existe ainda a possibilidade de se utilizar peroxidação com peróxido de hidrogênio como tratamento desinfetante. Os peróxidos se decompõem em diversos íons derivados do oxigênio nascente e são muito efetivos na desinfecção de lodos. A dosagem de peróxido (base 100%) costuma variar entre 100 a 200 gramas por metro cúbico de lodo de retorno. Depois que o problema é minimizado, a dosagem pode ser reduzida para valores entre 25 a 100 gramas por m^3, para fins de evitar recorrências.

Por tudo que foi debatido nessa seção, pode-se concluir que o tratamento químico oxidante para desinfecção deve ser visto como um tratamento de choque e não como um medicamento de uso continuado por longos períodos. Esses tratamentos são perigosos para a saúde dos microrganismos, podem afetar o desempenho da ETE e têm elevado custos operacionais. Existe ainda o risco de que as bactérias filamentosas possam passar a desenvolver linhagens resistentes às dosagens empregadas, passando a serem requeridas cargas, custos e riscos maiores.

==========

Desafios Operacionais

REDUÇÃO DA SEPTICIDADE DE EFLUENTES

Lagoas de emergência – Fontes usuais de septicidade

Efluentes sépticos (apodrecidos) são aqueles originados de fontes onde o líquido tenha ficado armazenado por um período longo de tempo, a tal ponto que tenha passado a sofrer ações naturais de decomposição anaeróbica.

As principais características desses efluentes são: altos teores de matéria orgânica facilmente metabolizável, altos níveis de sulfetos e de outros íons na forma reduzida. Essas características são resultantes do trabalho de organismos anaeróbicos, os quais precisam obter o oxigênio que necessitam de íons que o contenha (por exemplo: sulfato, nitrato, clorato, etc.). Conforme eles se alimentam e respiram usando esse oxigênio intramolecular recuperado de fontes inorgânicas, começam a biodegradar a matéria orgânica disponível no meio em moléculas mais simples. Por essa razão, as altas concentrações de substâncias semidecompostas mais fáceis de serem metabolizáveis e de íons reduzidos (sulfetos, cloretos, amoníaco, etc.).

A septicidade é uma característica de efluentes que ficam por muito tempo estocados em tanques ou lagoas. Ocorre também em líquidos, que ficam circulando em circuitos fechados dentro das fábricas. Em fábricas de papel, os líquidos circulam dessa forma e contêm amido, carboximetilcelulose, colas orgânicas e adesivos, etc.

Esses materiais são muito propícios ao ataque anaeróbico, já que surgem sempre organismos interessados em se alimentar deles. Na falta de oxigênio, esses organismos preferenciais são os anaeróbicos.

Outra fonte importante de septicidade é o percolado do aterro sanitário, que quase sempre é retornado ao sistema de tratamento de efluentes para eliminação de sua alta concentração de poluentes. É um líquido mal cheiroso, concentrado, rico em sulfetos, mercaptanas, gás sulfídrico e ácidos graxos voláteis. Além do mais, é um líquido perigoso, pois libera gases tóxicos que podem ser danosos aos seres vivos. Esse percolado apodrecido ou chorume costuma ter entre 1.000 a 2.000 ppm de AGV's, um banquete para muitas espécies de bactérias filamentosas. Um simples tratamento em separado (aeróbico) do chorume seria muito mais ecoeficiente e serviria para prevenir problemas de formação de "bulking" filamentoso no clarificador secundário.

Em geral, acredita-se que basta que um líquido orgânico fique armazenado por mais de 6 horas em um tanque ou decantador para que a septicidade comece a acontecer. Por isso, a septicidade é um fenômeno que ocorre normalmente em fábricas, em especial nas que possuem grandes decantadores primários e lagoas de emergência, onde se acumulam grandes volumes de líquidos orgânicos.

A septicidade pode ser notada pelo cheiro de podre que exala do efluente armazenado, em geral devido à liberação de compostos voláteis como gás sulfídrico, amônia, mercaptanas, ácidos graxos voláteis de baixo peso molecular (cheiro de gordura rançosa). Os AGV's – Ácidos Graxos Voláteis são ácidos simples resultantes da ruptura de moléculas mais complexas que estão presentes na madeira. Por sua fácil absorção e metabolização, são alimentos favoritos de bactérias presentes no lodo, em especial da *Zooglea ramigera* e de bactérias filamentosas.

Essas substâncias simples favorecem o crescimento de alguns tipos de bactérias filamentosas como: *Nostocoida limicola*, *Thiothrix* e *Beggiatoa*. Algumas dão preferência a se alimentar dos AGV's e outras gostam mesmo é do sulfeto, que procuram armazenar como enxofre na forma de grânulos intracelulares. Esse enxofre fica disponível a esses seres para uso em reações de oxirredução, quando requeridos.

Recomenda-se evitar o acúmulo de efluentes sépticos em plantas industriais – caso eles existam e devam ser incluídos no efluente bruto a tratar, é vital se monitorar suas concentrações nesses componentes problemáticos. Com isso, podem-se prevenir problemas maiores na microbiologia do lodo e no aparecimento de pesadelos operacionais como os lodos intumescidos.

Não é difícil se medir as concentrações de sulfetos e de AGV's nos efluentes. Os métodos estão disponibilizados na tradicional obra "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", a bíblia analítica sempre presente em estações de tratamento de águas e efluentes.

As recomendações de especialistas no assunto indicam que os teores de AGV's não devem superar os 100 ppm e os de sulfetos devem estar abaixo de 1 a 2 ppm. Caso esses níveis sejam maiores, antes de se retornar os efluentes para tratamento biológico no reator de lodo ativado seria interessante se oxigená-los por injeção de oxigênio e se agitá-los. Também é aconselhável se adicionar alguns nutrientes. Com isso, acaba-se por desenvolver alguma atividade aeróbica que pode eventualmente eliminar antecipadamente a fonte dos problemas no reator e no clarificador secundário. Porém, essa operação precisa ser monitorada, exatamente para evitar que as bactérias filamentosas comecem a se instalar mesmo nesse pré-tratamento. Nesse caso, a melhor solução seria se pré-tratar o efluente séptico e depois desinfetá-lo com cloro, hipoclorito ou peróxido.

Apesar de esses tratamentos parecerem complicados e eventualmente custosos, saem muito mais em conta do que os enormes problemas que teríamos com o lodo intumescido e os custos em desinfetar o lodo de reciclo com base em todos os SSV contidos no reator biológico. São coisas a se avaliar caso-a-caso para tomadas corretas de decisões.

Entretanto amigos, a solução mais simples é se evitar que se formem efluentes sépticos nas fábricas. Lagoas de emergência não são tanques de estocagem para finalidades operacionais rotineiras. O próprio nome das mesmas sugere que se usem as mesmas apenas em emergências e não em rotinas operacionais. Surpresas operacionais são frequentes, mas emergências ambientais não devem sê-las. Então, a solução para essas surpresinhas diárias não são as lagoas de emergência, mas sim os bem-projetados sistemas de recuperação de perdas (sistemas de contenção de derrames – "spills").

Em geral, a septicidade é causada pelo próprio sistema, em função de seu projeto ou sua operação. São comuns os enormes decantadores primários ou magníficas lagoas de emergência sem nenhum tipo de aeração.

Em sistemas onde se observem:

- Teores de oxigênio dissolvido menor que 0,15 ppm;

- Teor de sulfetos maior que 5 ppm;

- Teor de AGV's acima de 150 ppm...

...pode-se afirmar que já existe septicidade e que os problemas já podem ser antecipados, caso esse efluente seja misturado sem critérios ao efluente bruto a ser tratado no reator biológico de lodos ativados.

Em geral, efluentes de lagoa de emergência mostram concentrações de AGV's quase sempre superiores, ou bem superiores, a 100 ppm. Dessa forma, o retorno desse efluente para tratamento no reator precisa ser cauteloso, criterioso, bem dosado e sem precipitações operacionais. Deve-se estimular a aeração e a adição de nutrientes para que o reator possa trabalhar em condições de ótimo desempenho – e com muita atenção na relação F/M.

Outro líquido que contribui com concentrações elevadas de sulfeto é o condensado da evaporação. Apesar de seu teor de AGV's não ser problemática, a sua contribuição está mais na oferta de sulfetos. Deve-se, por isso, proceder a uma eficiente mistura desse condensado na câmara de equalização do efluente bruto para tentar evitar bolsões de efluente rico em sulfetos no reator biológico. Essa é mais uma das razões para incentivar o reuso dos condensados da evaporação no próprio sistema kraft como águas de lavagem, águas para acertos de concentrações na caustificação, etc.

Portanto, aviso final: casos problemas de "bulking" filamentoso sejam frequentes em suas instalações de tratamento de efluentes, inicie rápido uma investigação criteriosa por fontes de septicidade em todo o seu sistema e tente eliminar a septicidade em sua origem e não no reator biológico. Isso é bem mais ecoeficiente do que se gastarem fortunas em desinfecção dos sistemas e ainda assim se operá-los com menores rendimentos em função de efeitos negativos em sua microbiologia.

Septicidade em tanque recebedor de águas de lavagem da cozinha em fábrica de papel

==========

Desafios Operacionais

GESTÃO DOS NUTRIENTES – NITROGÊNIO E FÓSFORO

É essencial se oferecer uma disponibilidade adequada de nutrientes ao efluente, já que eles são vitais para que o metabolismo da microbiota seja efetivo. Apesar de muitos outros elementos minerais serem necessários ao metabolismo, em geral se oferecem apenas nitrogênio e fósforo. Os demais nutrientes, cujas necessidades nutricionais são menores por parte dos microrganismos, já existem em quantidades adequadas nos efluentes de fábricas de celulose e papel. Isso porque esses efluentes são derivados da madeira, que é relativamente rica em constituintes minerais.

Quando os nutrientes estiverem em níveis adequados, o desempenho do reator biológico pode ser excelente e a microbiota se tornará saudável e sem o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. Já quando o teor de nutrientes é inadequado, ocorrem mortes de microrganismos essenciais. A decomposição desses corpinhos acaba criando um ambiente adequado para o desenvolvimento de outros organismos, como as bactérias filamentosas, que são mais tolerantes à falta de nutrientes e de alimentos. Começa então um canibalismo e uma competição pelos nutrientes dos corpinhos mortos, o que se converte na verdade em uma biologia caótica e perversa.

De uma maneira geral, recomenda-se iniciar qualquer tratamento por lodos ativados com uma adição ponderal de

nutrientes em relação à quantidade de alimento (DBO) a ser ofertada ao reator. A relação padrão inicial seria aquela que se encontra em todos os livros sobre esse assunto:

DBO	:	N	:	P
100		5		1

A partir dessa relação, pode-se ir otimizando as adições de N e de P em função da própria presença de algum nitrogênio e fósforo que o próprio efluente bruto e o lodo de retorno contenham. No setor de celulose e papel, a relação otimizada flutua entre:

DBO	:	N	:	P
100		2,5 a 4		0,4 a 0,6

... e isso varia fábrica a fábrica. Não existe uma regra geral dentro do setor, apenas se sabe que se trabalha com relações otimizadas bem menores do que as relações recomendadas para o início de operação do reator.

A otimização dessas dosagens pode ser feita pela avaliação dos seguintes parâmetros:

- ♣ Rendimentos de redução de DBO e DQO;
- ♣ Residuais de nitrogênio e de fósforo no efluente tratado;
- ♣ Concentrações de N e de P no reator biológico;
- ♣ Restrições legais para nitrogênio e fósforo no efluente tratado.

Não adianta se colocar mais nutrientes do que for demandado, eles acabarão sobrando como residuais no efluente tratado e poderão inclusive se tornarem um problema legal, por não atingimento das restrições qualitativas impostas ao efluente.

Existe muita confusão com relação aos métodos analíticos que se utilizam. Apesar do interesse da legislação para as determinações de N_{Total} e de P_{Total} pois esses elementos acabarão fazendo parte do ecossistema natural conforme forem decompostos, para os microrganismos no reator essas medições não dizem absolutamente nada. A microbiota não está interessada em comer o nitrogênio de corpos de outros organismos vivos – ela quer nitrogênio disponível e assimilável no efluente – o mesmo é válido para o fósforo. Portanto,

as estações de tratamento de nutrientes deveriam realizar dois tipos de análises de nitrogênio e fósforo: uma para atender os requisitos legais e outra para aperfeiçoar o desempenho do reator.

Quando se faz o controle do reator biológico, devem-se medir os tipos de nitrogênio e de fósforo que sejam apetitosos para os microrganismos e não os que não mostram relação alguma à sua dieta alimentícia.

Por exemplo: o fósforo pode ser encontrado em três formas – ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. O fósforo é vital para os microrganismos, pois eles o utilizam na síntese de ATP e nas reações de trocas internas de energia metabólica. Acontece que os microrganismos preferem usar o ortofosfato - $(PO4)^{3-}$, pouca atenção dando ao fósforo orgânico.

A mesma coisa acontece com o nitrogênio. As determinações de nitrogênio total e de nitrogênio Kjeldahl não são boas indicadoras de disponibilidade de nitrogênio aos microrganismos. Deve-se dar preferência a avaliar as formas de nitrogênio que sejam mais facilmente utilizadas pelos mesmos no reator biológico. A recomendação é que se avalie o que se costuma denominar de TIN - Total Inorganic Nitrogen, que consiste no somatório de três formas de nitrogênio: amoniacal, nitrosa (nitrito) e nítrica (nitrato).

A recomendação dos especialistas é que os valores de TIN devam ser superiores a 1 ppm em todas as fases do tratamento biológico e as de ortofosfato sejam maiores que 0,5 a 1 ppm. Por todas as fases do tratamento entendem-se também o clarificador secundário, pois o lodo biológico continua vivo e ativo dentro do mesmo.

O fósforo é um nutriente muito mais estável no sistema biológico de lodos ativados. Tão logo ele seja oferecido e ingerido pelos microrganismos, ele vai direto para ser incorporado em constituintes vitais das células.

O mesmo não acontece com o nitrogênio que pode mudar de formas dentro do reator e do clarificador. Caso tenhamos que avaliar residuais em todas as fases do processo, o nitrogênio precisa ser analisado em suas diferentes formas e se calcular o TIN. O nitrogênio pode até mesmo mudar de estado físico, passando à forma gasosa (não assimilável) pelo fenômeno de desnitrificação, algo que pode ser ocasional em sistemas de lodos ativados.

Por ser um sistema aeróbico, a tendência natural do processo é a nitrificação do nitrogênio. Quando o nitrogênio do meio se converte em nitrato, ele se torna mais facilmente aproveitado por

diversos dos componentes da microbiota, em especial pelos rotíferos e protozoários. Dessa forma, frente à intensa aerobiose do reator biológico, a tendência natural do processo seria a conversão do nitrogênio amoniacal em nitritos e depois nitratos. Não acontece, nesses casos, remoção de nitrogênio do meio – apenas mudanças de suas formas químicas.

A nitrificação é favorecida por algumas condições do meio e que favorecem o desenvolvimento das bactérias *Nitrosomonas* (formam nitritos a partir da forma amoniacal) e *Nitrobacter* (formam nitratos a partir de nitritos). São elas:

→ Temperaturas altas (acima de 35ºC);

→ pH's mais altos (acima de 7);

→ Baixa relação F/M (por altas concentrações de SSV no reator);

→ Toxicidade que reduza a vitalidade da biomassa do reator;

→ Mistura ineficiente no reator, o que gera bolsões com quantidades variadas de concentrações de oxigênio.

Independentemente da forma inorgânica em que estiver o nitrogênio (amoniacal, nitrosa ou nítrica), ele consegue servir de alimento aos microrganismos, preferencialmente por um ou outro tipo de microrganismos. Por isso, é interessante que o nitrogênio ocorra nas três formas, pois ajuda a manter um equilíbrio adequado no fornecimento desse elemento vital para os componentes da microbiota. Pode-se então se controlar a taxa de nitrificação pelo controle do pH ou da concentração de SSV no reator biológico.

A nitrificação é interessante porque também favorece que o nitrogênio orgânico presente no alimento se converta em nitrogênio solúvel e assimilável (primeiro em nitrogênio amoniacal, depois em nitrito e a seguir em nitrato). Esse nitrogênio orgânico pode estar em moléculas de proteínas, aminoácidos e de outros compostos das células que estejam no reator (vivas, mortas ou modificadas). Na fabricação de celulose e papel também existem compostos de nitrogênio que são adicionados como aditivos, ou outros presentes em outros insumos (inclusive madeira). Todos podem acabar participando dessas reações nitrogenadas no sistema biológico de lodos ativados - desde o seletor/reator até a saída do clarificador e depois nos tanques de estabilização do lodo.

A nitrificação é mais intensa quando se aumenta a idade do lodo (em sistemas de aeração prolongada) ou quando se aumenta a

concentração de SSV no reator para se ajustar a relação F/M. Opostamente, a nitrificação é piorada em sistemas que trabalham com lodos de menor idade e em condições impróprias de pH.

Definitivamente, não existe interesse em se converter todo o nitrogênio amoniacal em nítrico. Isso porque se potencializa a possível degradação do nitrato pela reação oposta, que é a desnitrificação do nitrogênio:

$$NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

Além disso, a nitrificação consome nitrogênio (demanda nitrogenada de oxigênio), reduzindo a oferta de oxigênio para a microbiota. A nitrificação libera íons H^+ para o meio, ajudando a uma queda de pH, embora não significativa.

A desnitrificação ocorre em condições anóxicas, ou seja, onde não se injeta ou falta oxigênio no meio. Alguns organismos, por não encontrarem oxigênio, passam a busca-lo em íons como cloratos, cloritos, nitratos, nitritos, sulfatos, hipocloritos, etc.

A desnitrificação consiste na completa e irreversível redução do nitrogênio até nitrogênio gasoso estável.

Estequiometricamente:

$$2\ NO_3 \rightarrow N_2 + 3\ O_2$$

O nitrogênio gasoso tende a subir para a superfície do reator ou do clarificador secundário, arrastando sólidos suspensos que se aderem às bolhas ascendentes. Nota-se espuma na superfície do reator ou do clarificador, com consequentes possibilidades de aumento na turbidez e nos sólidos sedimentáveis no efluente tratado a nível secundário.

Com a desnitrificação, parte do nitrogênio que deveria ser utilizada como nutrientes para os microrganismos se perde para atmosfera. Com isso, começam a surgir populações inconvenientes de microrganismos, por falta desse elemento essencial para as que mais demandam dele.

Atualmente, tem sido comum a instalação de uma zona anóxica no reator secundário para forçar a degradação de íons clorato e clorito, que estão sendo legislados. Apesar da boa eficiência para destruir esses íons, a zona anóxica pode ser complicadora em relação ao suprimento de nitrogênio, pois ela pode favorecer a desnitrificação.

A desnitrificação também pode acontecer em locais onde se armazenam efluentes por longos períodos de tempo, como nas lagoas de emergência. Como já vimos, a anaerobiose leva a que o efluente se torne séptico, mais ácido e com intensa formação de espumas (nitrogênio e metano são liberados).

O próprio lodo biológico em seu processo de apodrecimento natural em aterros pode gerar gases como: metano, hidrogênio, nitrogênio e amônia, que se perdem na forma de bolhas de gás.

==========

Desafios Operacionais

GERENCIANDO A FORMAÇÃO DE ESPUMAS

Raramente os problemas de espumas em sistemas de tratamento de efluentes por sistemas de lodos ativados estão associados a excesso de surfactantes ou de outros detergentes formadores de espuma. Quando se nota formação de espumas, elas quase sempre estão relacionadas a fenômenos microbiológicos, como desnitrificação ou crescimento exagerado de alguma bactéria filamentosa especializada em formar espumas (*Nocardia* e/ou *Microthrix parvicela*). Essas duas últimas bactérias filamentosas citadas são também causadoras de intumescimento e subida do lodo em clarificadores secundários. Elas costumam ocorrer em ambientes ricos em AGV's, óleos e graxas, alta septicidade, baixíssimo oxigênio dissolvido, baixas relações F/M e altas idades de lodo.

Evidentemente há que se saber separar o que é uma espuma microbiológica do que são bolhas de ar sendo adicionadas com a finalidade de suprimento de oxigênio.

Os antiespumantes tradicionais não controlam esses tipos de espumas já que não são espumas derivadas da ação de sabões. A melhor forma de se controlar uma espuma de natureza microbiológica é se ajustar os constituintes da microbiota. O primeiro ajuste a se fazer é pela redução da idade do lodo, através de alterações na concentração de SSV no reator (diminuindo-se a taxa

de reciclo do lodo). A outra alteração viável (quando possível for) é pelo aumento do oxigênio demandado, o que pode ser feito com injeção de ar ou de oxigênio de alta pureza por sistemas especiais de oxigenação suplementar.

==========

Desafios Operacionais

GERENCIANDO A TOXICIDADE

A toxicidade de efluentes setoriais pode conduzir a sérias consequências no reator biológico, comprometendo todo o processo – isso porque pode afetar o desempenho microbiológico por completo no reator e no clarificador.

Entretanto, não é apenas o desempenho em redução de DBO e DQO que são afetados, mas principalmente a decantabilidade do lodo no clarificador secundário. Dessa forma, a toxicidade é sinônima de problemas e pesadelos – e de perversidade com a microbiota, também!

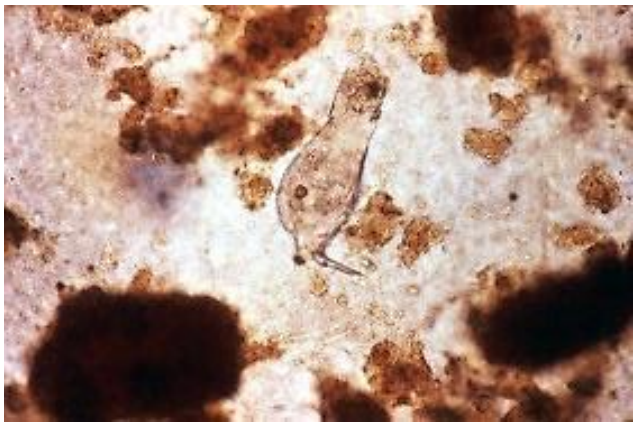
Os principais compostos causadores de toxicidade são:

- Oxidantes residuais do branqueamento da celulose (choques oxidativos);

- Microbicidas usados para limpezas de sistemas;
- Choques causados por descargas inadequadas de produtos químicos (ácidos, sais ou álcalis);
- Choques de salinidade, mudando radicalmente a condutividade do efluente;
- Presença de organoclorados tóxicos e persistentes;
- Compostos polifenólicos de origem lenhosa (da madeira ou casca das árvores).

O efeito tóxico desses compostos, quando em quantidades acima de limites aceitáveis, pode ser devastador sobre rotíferos, protozoários, bactérias formadoras de flocos, etc. O desequilíbrio populacional acaba deixando o floco frouxo, disperso, pequeno, resultando em efluente turvo, repleto de sólidos suspensos, além de altas cargas de DQO e DBO.

Por isso mesmo, um dos maiores desafios técnicos do sistema de tratamento biotecnológico por sistemas vivos de lodos ativados é avaliar a toxicidade no sistema e manter a mesma definitivamente em níveis aceitáveis. As avaliações da qualidade dos flocos e dos componentes da microbiota dão boas indicações do que pode estar acontecendo quanto à presença de compostos tóxicos. Se os ajustes e correções não forem imediatos, o problema pode se tornar muito sério – a ponto da planta produtora de celulose ou papel ter que reduzir ritmos de produção ou parar completamente a mesma por incapacidade da ETE em atingir os requisitos legais impostos pela instituição ambiental.



==========

Desafios Operacionais

GERENCIANDO O DESCARTE DE CINZAS DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO

No passado mais distante, o descarte de cinzas da caldeira de recuperação era quase ocasional, pois as perdas de cinzas através das chaminés eram bem maiores e os circuitos de águas bem mais abertos. Isso facilitava que os elementos não processuais pudessem escapar e não se acumulassem nos sistemas de recuperação kraft, em especial os cloretos e o potássio. Escrevi todo um capítulo do Eucalyptus Online Book sobre esses conhecidos e problemáticos elementos não processuais, ao qual recomendo sua atenção, e se possível leitura.

Ele pode ser encontrado em:

Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose kraft. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 24. 122 pp. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosNproces.pdf

Com o crescente fechamento dos circuitos de efluentes hídricos e aéreos, a cinza da caldeira de recuperação passou a ser problemática e as purgas para eliminar elementos não processuais se tornaram frequentes. Além da purga de cinza tal qual, existem fábricas que tentam purificar a cinza eliminando um lixiviado rico em cloretos e íons de potássio, mas também contendo sulfatos e carbonatos de sódio. Esse sistema de lavagem das cinzas costuma ser conhecido por "Ash Leaching", sendo que o destino desse lixiviado invariavelmente tem sido a estação de tratamento de efluentes.

Dessa forma, existem diversas aproximações acerca da gestão das cinzas, que na realidade seria um resíduo sólido, mas que as fábricas teimam em convertê-lo em um efluente líquido, o que se torna mais simples de se desfazer como poluente. Existem fábricas com adequados níveis de ecoeficiência, tentando encontrar destinações para as cinzas como resíduo mineral rico em sulfatos de sódio. Porém existem empresas que mostram pouquíssima atenção com seus sistemas e ecossistemas, descartando pontualmente grandes quantidades de cinzas diretamente para o efluente bruto. Essa cinza quente e mineral se dissolve relativamente bem em água e se lançada diretamente e de uma vez ao efluente setorial da área, vai causar um tremendo impacto sobre a salinidade do efluente bruto, mesmo quando equalizado e neutralizado.

O impacto desse efluente salino e com alto pH será cruel para a colônia de microrganismos. Mesmo que o tempo de lançamento desse efluente salino seja curto, as maldades que ele traz à microbiota são enormes, muitas vezes de maneira difícil de serem consertadas. Afinal, temos uma microbiologia de seres de água doce e não de água salgada no reator biológico.

Caso essas purgas ocorram dessa forma irregular e com frequência (duas a três vezes por semana), nunca existirá tempo suficiente para a reabilitação da microbiota. Ela estará sendo sempre impactada de forma drástica e dramática. Com isso, acabará acontecendo uma mudança permanente na microbiologia do reator biológico, que poderá reduzir seus desempenhos na redução da DBO e DQO do efluente.

Tanto as cinzas da caldeira de recuperação kraft, como os lixiviados do sistema de purificação das cinzas não possuem compostos tóxicos que tenham ação bactericida ou desinfetante. Acontece que esses materiais são altamente salinos e colocam o meio em condições de condutividade e salinidade inadequadas para esses seres vivos de água doce que habitam o interior do sistema de lodos ativados.

Além disso, o sistema de tratamento biológico por lodos ativados não tem objetivo de tratar íons salinos ou minerais. Esses minerais passam incólumes pelo sistema, quando muito podem oferecer alguns nutrientes aos microrganismos. Porém mesmo nutrientes em excesso acabam sendo indigestos e problemáticos. Portanto, essa salinidade exagerada acabará trazendo prejuízos no desempenho do reator e do clarificador secundário.

Mesmo quando as cinzas dissolvidas e os lixiviados forem dosados de forma mais contínua e de menor impacto, eles trarão

alguns efeitos na composição e desempenho da microbiota do reator. Esses compostos salinos podem aumentar a turbidez do efluente, além de aumentarem a sua condutividade prela presença de cloretos, sulfatos, carbonatos, e de íons minerais como os de cálcio, potássio, sódio, magnésio, etc.

Adicionalmente, o pH desses lixiviados e das cinzas dissolvidas é elevadíssimo (acima de 12). Tome-se, por exemplo, o fato de que a condutividade de um lixiviado do sistema de "Ash Leaching" pode atingir valores de 270.000 a 350.000 µS/cm, enquanto os valores da condutividade dos efluentes tratados por sistemas biológicos raramente são superiores a 4.000 µS/cm. A água do mar costuma atingir 50.000 µS/cm.

Existem então três recomendações gerais sobre a maneira de gerenciar essa problemática em relação às cinzas da caldeira de recuperação:

- Desenvolvimento de uma utilização para as cinzas retiradas na forma de resíduo sólido, eventualmente algum tipo de fertilizante potássico frente ao alto teor de potássio que ela possui.

- Preparação e dosagem da solução de cinzas ou do lixiviado da estação de "Ash Leaching" de forma contínua e constante, como um efluente de baixo fluxo e de alta salinidade (mas controlada), para o sistema de tratamento de efluentes. Essa recomendação não é tão ecoeficiente, mas é bem melhor do que se lançarem as cinzas de forma eventual e concentrada no efluente. Esse lançamento pode elevar a condutividade do líquido no interior do reator biológico em cerca de 250 a 500 µS/cm. Isso vem sendo adotado em muitas fábricas por ser de baixo custo, pois utiliza as linhas de despejo do próprio efluente setorial da caldeira de recuperação. Sua implantação só dependerá da construção de um tanque para diluição e ajustes da concentração da solução e de um dosador de fluxos, para envio controlado ao sistema de tratamento de efluentes.

- Construção de uma linha especial para que o líquido controlado e salino da recomendação anterior possa ser despejado não no efluente bruto a tratar, mas na linha de efluente tratado, pouco antes da sua medição para envio ao corpo receptor. Seria interessante se ter um sistema adicional de filtração para remoção de sólidos (areia, partículas não dissolvidas, etc.). Com isso, evita-se algum efeito sobre a turbidez do efluente tratado. Como esses líquidos originados das cinzas da caldeira de recuperação praticamente não

possuem cor e tampouco têm valores de DBO e DQO, seus impactos sobre o efluente tratado seriam muito mais sobre a condutividade do que sobre outras características particulares e legisladas do efluente.

Obviamente, essas alterações demandam acertos com as autoridades ambientais e a qualidade do efluente tratado não pode de forma alguma ultrapassar as restrições legisladas.

A maior vantagem dessa ação é a eliminação do efeito adverso dessa solução salina sobre o reator biológico, já que esse descarte seria lançado após o reator biológico.

Apesar de ser algo simples, essa alternativa não tem sido muito praticada pela necessidade de se ter que construir uma linha especial de efluentes desde a caldeira de recuperação até o final da estação de tratamento de efluentes, pouco antes da calha Parshall que mede o efluente final ao rio.

Existem muitas vantagens de se ter uma alternativa como essa para se dispor de líquidos salinos e que possam ter sólidos suspensos para separação. Existem outros líquidos similares que eventualmente acabam "sobrando no processo": solução ácida de sesquissulfato de sódio, ácido da planta química, derrames de licores fortemente alcalinos, derrames de tanques da caustificação, etc.

É bem possível que no futuro se disponham de tratamentos tipo "kidney" para esses líquidos todos, evitando então a mistura de efluentes tão distintos para envio à ETE. É muita incompetência ou ingenuidade de quem projeta sistemas de tratamento de efluentes para lançar tudo isso para o reator biológico – só passaria por dentro do sistema biológico para fazer crueldades, maldades e nada mais.

Observem amigos que esses efluentes de natureza química não possuem nada de alimento (F praticamente nulo) e só podem ajudar com alguns nutrientes – mas isso pouco importa, pois as concentrações dos outros elementos salinos fazem muito mais mal do que os nutrientes possam fazer de bem. Há empresas que guardam isso nas lagoas de emergência misturando com efluentes sépticos – piorando ainda mais as chances de se controlar adequadamente o reator nos casos de recalcar líquidos dessas lagoas para o sistema biológico.

Além do processo de ajuste de concentração, condutividade e pH, esse sistema bem pode mereceria ter um filtro para remoção de sólidos suspensos – com isso, a qualidade do líquido a gerenciar seria bastante melhorada – admitindo até uma continuidade de qualidade que poderia ter mínimos impactos sobre as especificações do efluente final.

Filtrando sólidos suspensos de efluentes
Algo pouco praticado – mas de excelentes resultados

==========

BIOAUMENTO NO REATOR BIOLÓGICO

Maravilhosa floculação em efluente em reator biológico

A bioaumentação ou "bioseeding" consiste no uso de organismos exógenos para aumentar e estabilizar a concentração de SSV no reator biológico. Também tem sido referida como biorremediação, já que se trata de uma espécie de remédio biológico vivo que se adiciona ao tanque de aeração.

Esses organismos são desenvolvidos por empresas de biotecnologia especializadas em desenvolvimento de linhagens especiais de organismos. Esses organismos são especializados para degradar poluentes em maiores rendimentos, conseguindo atuar inclusive sobre uma parte da DQO recalcitrante. De uma maneira geral, esses organismos são alóctones, não têm origem no local onde serão adicionados. Podem até mesmo serem resultantes de projetos de biotecnologia com base em engenharia genética e manipulação de genes. Eles podem ser adquiridos na forma desidratada para posterior reidratação e reabilitação, sendo oferecidos ao reator biológico como um bioaditivo fortificante.

Dentre os organismos para bioaumentação disponíveis nos mercados podem ser citadas: *Pseudomonas aeroginosa*; *Anicetobacter calcoaceticus*, *Lignobacter*, etc. Dentre os fungos, os mais estudados são do gênero *Aspergillus*, que causam degradação em fenóis. Algumas dificuldades podem ocorrer em caso desses organismos venham a adquirir propriedades de causar infecções a animais e pessoas.

A aplicação desses organismos oferecidos como biosementes adicionais costuma ser feita junto com o lodo de retorno. Seu uso é especialmente indicado para arranques de novas fábricas ou para colaborar com a reabilitação de uma microbiota que precise de um plano de recuperação de desempenho ou de diversidade populacional.

As principais metas do bioaumento são as seguintes:

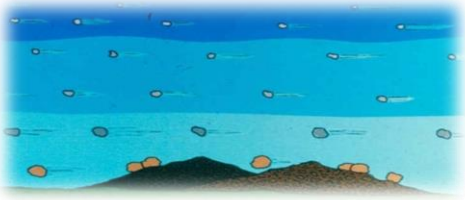
- ♣ Aumentar a remoção da DBO e DQO, principalmente pela especialização dos organismos para atacar moléculas de DQO recalcitrante;
- ♣ Melhoria da qualidade, diversidade e desempenho da microbiota;
- ♣ Redução da sensibilidade da microbiota a condições de choques de cargas químicas, tóxicas, temperatura, pH e condutividade;
- ♣ Redução no consumo de nutrientes;
- ♣ Redução no consumo de polímeros no clarificador secundário e na prensagem de lodo.

Esses aditivos biológicos atuam como coadjuvantes dos processos de oxidação biológica, estimulando para que ela ocorra de maneira mais efetiva. As alterações na microbiota podem cooperar para a melhoria das qualidades do efluente final ou compensar por acertos em alguns tipos de dificuldades vivenciadas pela ETE. Esses microrganismos costumam ter a capacidade de usar como alimento algumas moléculas recalcitrantes que estariam passando incólumes pelo sistema. Lembre-se que um reator biológico costuma remover entre 80 a 95% da DBO colocada como fonte de alimentos. Logo, algum alimento, que não é absolutamente recalcitrante, pois foi medido como DBO, acaba passando direto pelo reator biológico.

O inconveniente do bioaumento é que quase sempre há que se reinocular os organismos especializados, pois a colônia natural tende a buscar um equilíbrio que não contempla a presença desses organismos alóctones. Outro inconveniente seria se utilizar de OGM's – Organismos Geneticamente Modificados, pois a sociedade humana não costuma gostar desse tipo de biotecnologia, embora faça uso dela em muitos alimentos de sua vida diária – e na medicina também.

==========

BIOTRATAMENTO DE LODOS MORTOS E PUTREFATOS DE LAGOAS ASSOREADAS



É bastante comum no setor de celulose e papel que sejam encontradas nas fábricas algumas lagoas assoreadas com altas deposições de lodo fibroso ou de lodo biológico. Essas lagoas costumam ser resultado de situações não muito adequadas de operações passadas e se constituem em passivo ambiental que a maioria das empresas não conhece, não querem ou não têm interesse imediato para resolver. Elas causam mau odor nas vizinhanças e prejudicam a imagem da empresa e do setor. A remoção desse lodo apodrecido e putrefato é cara e surge outro problema – como retirar e onde colocar esse lodo?

Algumas empresas removem esse lodo e o encaminham para a central de compostagem – ou para aterros industriais. Outras tentam reintroduzir o líquido e o lodo podre de volta ao sistema de prensagem de lodo – mesmo tendo efeitos negativos no desempenho dessas unidades. O lixiviado necessariamente é muito séptico e quando enviado ao reator biológico vai trazer consequências que já conhecemos.

Existem processos de pré-tratamento desse material antes de se tentar reintroduzir o mesmo nas ETE's e estações de reciclagem de resíduos sólidos. Os sistemas mais avançados consistem em se instalar um tanque de aeração em separado (com recirculação) para se injetar oxigênio e se reduzir a concentração de compostos sépticos. Cria-se então um mini-reator (espécie de seletor) e se desenvolve uma microbiota especializada para a destruição desses compostos sépticos de fácil metabolização. Essa microbiota deve ser também especializada para destruir sulfetos e outros compostos reduzidos criados pelas condições anaeróbicas.

Uma alternativa interessante seria a instalação de um sistema "kidney" do tipo anaeróbico, para dar continuidade de forma controlada para aquilo que já está acontecendo naturalmente – a anaerobiose passa de natural para um processo controlado e

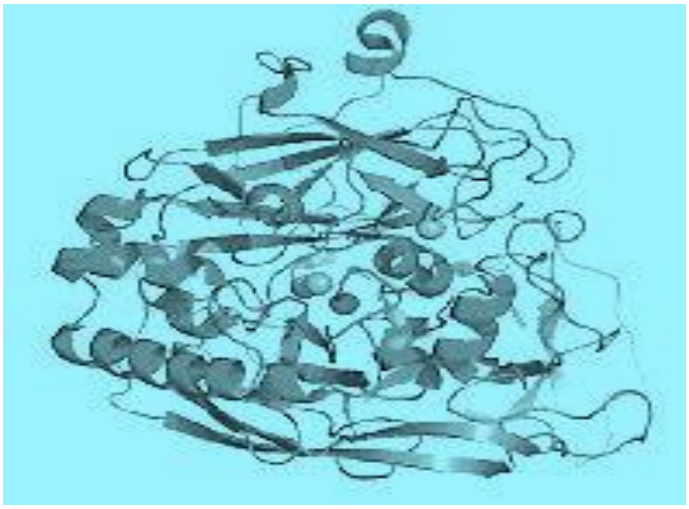
orientado à biodeterioração. Pode-se inclusive se usar o metano e o hidrogênio produzidos pelo sistema como gases combustíveis na própria área de tratamento. Esse tipo de processo pode até mesmo ser merecedor de créditos de carbono, por dar cabo do metano da anaerobiose, um gás que é 21 vezes mais perverso ao efeito estufa do que o gás carbônico.

Lodo sendo compostado de forma anaeróbica para produção de fertilizante orgânico

Lodo de lagoa assoreada e previamente secada

==========

ENZIMAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES



Existem estudos técnicos e científicos mostrando que algumas enzimas como as lacases, proteases e celulases são eficientes para degradação de compostos orgânicos presentes em efluentes. As lacases mediadas podem biodegradar a lignina em sistemas tipo "kidney", enquanto as proteases e celulases atuariam sobre as substâncias poliméricas extracelulares causadoras do "bulking" viscoso.

A grande vantagem da lacase seria a sua eficiente atuação sobre compostos da DQO recalcitrante, seja de compostos clorados de alto ou de baixo peso molecular. Ela consegue fragmentar esses compostos em substâncias mais simples e menos tóxicas, com maior facilidade para biodegradabilidade.

A adição comercial de enzimas para essa finalidade tem-se mostrado não econômica, porém há muita experimentação sendo realizada nas academias e entre os fabricantes de enzimas. Acredita-se que esse tipo de aplicação enzimática poderia ter mais chances de sucesso em efluentes de baixo fluxo e com altas concentrações de substâncias orgânicas recalcitrantes.

Existem expectativas para o desenvolvimento de organismos mutantes capazes de produzirem grandes quantidades de enzimas para barateamento de seu preço nos mercados. O problema com as lacases continua sendo a necessidade de um mediador de alto custo para sua efetiva atuação.

Por essas e outras razões, no momento as enzimas estão ainda em fase de estudos, mas merecem serem notadas e estudadas

– por essa razão mesmo é que estão sendo avaliadas – pela potencialidade que oferecem.

==========

MANDAMENTOS PARA GERENCIAMENTO

A gestão ecoeficiente do sistema de tratamento biológico por lodos ativados começa na verdade na gestão de todas as perdas hídricas da fábrica. Não há como se fazer apenas uma gestão do reator biológico e do clarificador secundário. Essa gestão é muito mais ampla, envolve conceitos, práticas, conhecimentos, metodologias, avaliações e comportamentos. Envolve, antes de tudo, comportamentos, atitudes e responsabilizações. Sem isso, e sem saber quais as limitações e quais as oportunidades que se podem trabalhar – ou que se precisam trabalhar – os técnicos e os operadores naveguem às cegas e os resultados serão pobres em desempenho ambiental, social e econômico.

O funcionamento de uma estação de tratamento de efluentes depende de alguns fatores-chaves que comandam todo seu desempenho:

- Qualidade técnica da planta;
- Sistemas preventivos como lagoas de emergência, sistemas de recuperação de perdas, disponibilidade de duplicidade em equipamentos chaves, etc.;
- Qualidade do líquido a tratar (efluente bruto) e variabilidade do mesmo (ocorrências de picos para cima ou para baixo de variáveis chaves de especificações);

- Formas de operar a planta (paradas frequentes e longas, mudanças nas variáveis operacionais, muitas mudanças ou ajustes ocorrendo simultaneamente);

- Estabilidade operacional (identificada pela frequência de alterações indesejáveis nas cargas e no desempenho da planta industrial como um todo);

- Carga aplicada de efluentes em relação à carga projetada;

- Cultura e qualificação dos operadores da ETE;

- Cultura e qualificação dos operadores das áreas geradoras de efluentes;

- Cultura dos gestores da empresa, em especial da alta administração.

Vejam por exemplo algumas situações que resultam em desempenho muito pobre da estação de tratamento de efluentes por lodos ativados:

  - Transbordos frequentes nos setores geradores de efluentes, com líquidos contendo licores e produtos químicos que são enviados diretos ao tratamento de efluentes, até mesmo sem se alertar os operadores da ETE;

  - Falta de controles de qualidade e cargas dos efluentes setoriais;

  - Toxicidade variável nos efluentes a tratar;

  - Frequentes e desnecessários usos da lagoa de emergência como equipamento operacional rotineiro e não como emergência;

  - Falta de critérios e de avaliação de qualidade para recalques da lagoa de emergência para destinação à ETE;

  - Aeração ineficiente e baixos níveis de oxigênio dissolvido;

  - Falta de acompanhamento da microbiologia do lodo e dos flocos;

  - Ausência completa de gestão sobre as lavagens de sistemas e de equipamentos que gerem altas contaminações para efluentes, como: evaporação,

caldeiras de recuperação e biomassa, máquinas de secar papel e celulose, sistemas de lavagem de toras de biomassa, digestor de polpação, etc.;

- Manutenção deficiente (falta de prioridade) para a ETE – "sempre atrasada", pois "a prioridade é a fábrica" – como se a ETE não fosse parte da unidade industrial de fabricação de celulose e papel. Algumas coisas muito simples, como não se fazer a limpeza e manutenção dos bicos injetores de oxigênio ou de ar, acabam por comprometer todo o desempenho de um sistema de lodos ativados – uma lástima, ou um pecado imperdoável de gestão.

- Superdimensionamento de equipamentos chaves – reator biológico e clarificadores – não adianta se construírem equipamentos gigantescos por segurança – ou para se poder ampliar a fábrica a qualquer momento sem se ter que investir na ETE.

- Ausência ou ineficiência do sistema de recuperação de perdas (mal projetado ou mal operado);

- Ausência de controladores online;

- Ausência de especificações para os efluentes setoriais, inclusive de toxicidade;

- Falta de diálogo entre as áreas geradoras de efluentes e o setor de tratamento de efluentes. Muitas vezes, o responsável pela gestão da ETE não tem assento na reunião diária de produção – e pior que isso, não advoga a sua participação e nem se rebela contra isso – pelo contrário, alguns até que ficam felizes e acomodados, pois "não têm quem lhes perturbe todos os dias".

Existem alguns passos importantes para uma gestão ecoeficiente de uma estação de tratamento de efluentes e que possua um sistema de lodos ativados, embora muitos desses passos sejam válidos para quaisquer tipos de ETE's. Dentre eles, destacamos:

- Identificação de todos os efluentes setoriais que compõem o efluente bruto que será tratado na ETE, por exemplo: efluente do branqueamento, efluente da lavagem e depuração de polpa, efluente da evaporação, efluente da caldeira de recuperação, etc. Essa identificação implica em conhecimento exemplar de

fluxos, concentrações e cargas de poluentes (DBO, DQO, SST, etc.) e toxicidade dos mesmos.

- Elaboração de um balanço de massa muito criterioso, sem necessidade de sofisticações metodológicas. Pode ser feito em planilhas tipo Excel ou associado ao sistema de automação da planta. O balanço deve ser dinâmico e permitir que se possam fazer inclusive modelagens e simulações. Não basta ser um balanço de fluxos hidráulicos apenas – ele deve incluir também balanços de DBO, DQO, SST, SSV, oxigênio, nitrogênio, fósforo, etc. Também deve ser dada atenção ao reciclo de lodo, pois esse lodo retornado impacta nas concentrações de SSV no reator biológico e também em desempenhos de reatores e de clarificadores secundários. O balanço de massa deve também englobar coisas que muitas vezes não merecem atenção dos operadores, como os reciclos de filtrados da prensagem de lodos, que podem ser ricos em ácidos graxos voláteis e em DBO, DQO e SSV.

- Identificação exata e correta de todas as contribuições atuais e potenciais de efluentes (armazenados) no sistema de recuperação de perdas e nas lagoas de emergência (suas quantidades, qualidades, toxicidade e cargas).

- Estabelecimento de medidas preventivas para paradas e arranques de unidades setoriais e da fábrica como um todo.

- Estabelecimento de melhores práticas e de medidas preventivas para mudanças de ritmos de produção que possam impactar a oferta de alimentos para o reator biológico.

- Estabelecimento de planos de drenagem de efluentes e líquidos estocados e de seu monitoramento: líquidos que possam afetar a operações e desempenho do reator, tipos de contaminantes presentes, efeitos na microbiota, etc.

- Identificação das variáveis chaves a serem monitoradas e controladas em cada situação operacional, inclusive nas emergenciais. Cada situação é um caso a parte e merece uma avaliação e um controle que pode ser muito específico. Por exemplo: ao se mudar a sequência de branqueamento pela necessidade de se ter que tirar uma torre para manutenção, existe um tipo de impacto que pode ser importante em função de alterações nos residuais de compostos oxidativos dos efluentes. Ao se retornar efluente estocado na lagoa de emergência há outro tipo de impacto. Para mudanças na qualidade da lavagem da polpa (aumento de "carry-over) teremos outro tipo de impacto – e assim por diante. Com boa

ciência e conhecimentos tecnológicos, os operadores podem-se programar para melhor desempenho e podem inclusive estabelecerem relações históricas para operações melhores a partir de suas observações e conclusões.

- Criar uma política de não permissão de lançamento de materiais em efluentes, os quais a ETE não está designada a tratar. Por exemplo: "dregs" e "grits", lama de cal, salmoura suja, sesquissulfato ácido da planta química, etc. Infelizmente, essas situações existem – mesmo que não seja recomendável se lançar esse tipo de material nos efluentes, alguns técnicos optam por fazê-lo por acreditarem que "estão se livrando de um problema". Na verdade, estão criando outros tipos de problemas, alguns de ordem legal e mesmo jurídica. Isso jamais poderia acontecer em empresas certificadas pela norma de gestão IS0 14001 – mas infelizmente, acontecem!

- Programação de "boiling outs" setoriais – um de cada vez – tendo tanques-pulmões para poder estocar e depois dosar os líquidos sujos ao sistema de tratamento de efluentes, após uma adequada negociação entre as áreas geradoras e tratadoras desses líquidos. Isso tudo para não comprometer o desempenho do reator biológico e do clarificador secundário.

- Garantir um fluxo contínuo e uniforme de alimento (F) ao reator biológico, independentemente das mazelas do processo de fabricação. Há que se dispor de meios de se administrar a quantidade de F, para evitar que ele varie "à vontade divina", ou melhor, "à vontade dos seres humanos operando a fábrica". Os microrganismos são muito eficientes na redução das cargas de DBO, DQO e AOX, mas isso quando trabalham sem choques processuais. Alterações bruscas de fluxo e nas cargas e relações de DBO e DQO significam invariavelmente perdas de controle sobre as condições de eficiência metabólica, dentre as quais a quantidade de oxigênio disponível para que a respiração dos organismos seja eficientemente realizada.

- Dispor de um controle mais eficiente na câmara de equalização de efluentes para se ter uma real indicação das entradas e saídas da mesma. A variabilidade dos efluentes precisa ser monitorada e conhecida.

- Implantar sistemas de monitoramento online e de controle automático para cor, pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, carbono orgânico total e DQO. Estabelecer relações que permitam controle mais eficiente das operações a partir desse monitoramento e das mudanças operacionais em: idade de lodo, relação F/M, concentração de SSV no reator, etc.

- Programar sistemas de avaliação da toxicidade dos efluentes setoriais, pois essas medições nos indicam as possíveis alterações na microbiologia da colônia e seu desempenho no reator e no clarificador secundário.

- Desenvolver uma cultura de busca de entendimento sob o ponto de vista científico do que esteja acontecendo no sistema de tratamento de efluentes. Não bastam apenas se medir cargas e fluxos para tomada de decisões. Há que se colocar na posição de um ser microbiológico no reator para se poder sentir quais seriam os efeitos das operações sobre os mesmos.

A partir dessas considerações, gostaria de ousar e fazer algumas recomendações para que se possa fazer uma gestão mais ecoeficiente de uma estação de tratamento de efluentes pelo sistema de lodos ativados. Vou fazer isso sem uma ordenação de importância ou de preferências. Essas recomendações serão apresentadas de forma clara e honesta, todas sendo frutos de minha experiência acumulada nesses anos de trabalho ambiental no setor de celulose e papel:

Recomendação nº 01: Adotar o conceito de "mini-fábricas", conforme meu artigo apresentado em 1994 (http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Minimum%20environmental%20impact%20mill%201994.pdf), em trabalho que apresentei sobre como era operada a geração e controle ambiental dos efluentes na ex-Riocell, naquela época. Por esse conceito, cada setor gerador de efluente era considerado como sendo uma fábrica de efluente e que, por essa razão, precisava de especificações de quantidades e de qualidades, com padrões a cumprir. Cada mini-fábrica deveria ser monitorada, controlada e ter seus efluentes avaliados, até mesmo de forma contínua e automatizada. Sistemas preventivos deveriam ser criados e as melhores práticas enunciadas, disseminadas e, evidentemente, praticadas. Cada mini-fábrica deveria ter um sistema de recuperação de perdas que lhe permitisse reter efluentes fora das especificações de qualidade e cargas, para retornar os mesmos preferencialmente de novo ao seu próprio processo – e não apenas se pensar em transferir o problema para a estação de tratamento de efluentes. Por exemplo: as águas de lavagem do sistema de evaporação devem ser estocadas e depois dosadas ao licor fraco para serem evaporadas e terem seus sólidos queimados na caldeira de recuperação.

Sistemas de recuperação de perdas em fábricas de celulose e papel

Recomendação nº 02: Prever o desempenho operacional e a qualidade do efluente tratado, para antecipação de ações. Um efluente setorial quando gerado só conseguirá mostrar seu efeito sobre o efluente final tratado algumas horas adiante, em função dos tempos de residência em reatores, clarificadores, tanques e lagoas.

Recomendação nº 03: Comparar frequentemente os valores atuais com os valores de melhor desempenho e tentar buscar as causas para desvios.

Recomendação nº 04: Garantir o enquadramento legal do efluente tratado, mas que não seja um mero atendimento às especificações e sim um trabalho de esforço para ir além desses limites de restrição legal ("beyond compliance").

Recomendação nº 05: Manter o nível de eficiência de redução da DBO na ETE acima de 85 a 90% (ou mais, se a planta estiver desenhada para mais do que isso).

Recomendação nº 06: Manter a relação DBO/DQO (presença de recalcitrantes) dentro dos limites do processo industrial.

Recomendação nº 07: Evitar níveis prejudiciais de toxicidade nos efluentes setoriais e no efluente equalizado e neutralizado.

Recomendação nº 08: Impedir que as áreas setoriais despejem para a ETE ou para a lagoa de emergência uma quantidade de carga poluente maior do que a elas seja permitido. Caso haja necessidade de algum despejo adicional, negociações e permissões são sugeridas.

Recomendação nº 09: Despejos para a lagoa de emergência devem ter correta identificação e precisam ser autorizados pela gestão ambiental da fábrica. Planos de remoção e reabilitação de qualidade desses despejos precisam ser criados. As lagoas de emergência não devem ser utilizadas na rotina, como tanques de perdas de poluentes. Para que essa recomendação seja efetiva, há que se implantar a recomendação seguinte.

Recomendação nº 10: Investir mais no sistema de recuperação e prevenção de perdas.

Recomendação nº 11: Estabelecer limites máximos para a carga diária de F (DBO), tendo sistemas que possibilitem esses ajustes tanto de envio para a ETE como de reincorporação ao processo industrial.

Recomendação nº 12: Proibir descartar em efluentes: licor preto, licor verde, licor branco, lama de cal, cal virgem, metanol, óleo combustível, soluções químicas concentradas, sesquissulfato ácido da planta química, "dregs" e "grits", etc.

Recomendação nº 13: Avaliar a qualidade do efluente da lagoa de emergência antes de se recalcar desse efluente para a ETE. Todo

custo de tratamento do efluente da lagoa de emergência deve ser atribuído para a área geradora desse efluente.

Recomendação nº 14: Garantir a temperatura do efluente adentrando ao reator biológico abaixo dos limites impostos para esse tipo de biotecnologia.

Recomendação nº 15: Manter eficientes controles das adições de oxigênio, nutrientes, temperaturas, condutividade, pH, etc.

Recomendação nº 16: Ter planos preventivos e remediativos típicos para a operação do sistema de tratamento de efluentes em casos de situações emergenciais.

Recomendação nº 17: Mudar o foco, direcionando o mesmo para os efluentes setoriais e para o efluente bruto equalizado (na origem dos mesmos) e não para o efluente tratado e seus limites legais apenas.

Recomendação nº 18: Segregar efluentes bons de efluentes contaminados, evitando o envio para a ETE de enormes fluxos a passar por todo o sistema de tratamento. Exemplo: é muito mais adequado, ecoeficiente e barato se colocar um sistema de remoção de areia no efluente da área que realmente contém areia (lavagem de toras) do que se colocarem enormes desarenadores para todo o efluente bruto e equalizado.

Recomendação nº 19: Manter o foco no treinamento e na qualificação dos operadores. É preciso que cada operador da fábrica tenha consciência de seu impacto, que ele possa entender e reduzir o lixo que gera e que ele tem responsabilidade de tratar. Deve ficar claro que a missão de cada um está na redução na fonte e não apenas no tratamento de final de tubo. Palestras, debates, cursos e explicações de causa/efeito são vitais para que os operadores mudem a forma de operar para modelos mais ecoeficientes.

Recomendação nº 20: Fugir das chamadas avaliações de amostras compostas. Elas mascaram os problemas de desempenho da ETE, escondem os picos e os vales da variabilidade. É essencial que conheçamos essa variabilidade, pois picos e vales refletem exatamente os choques térmicos, oxidantes, tóxicos, salinos, etc. Se formos acompanhar apenas os resultados de análises compostas

feitas no efluente final tratado, raramente vamos conseguir identificar e resolver os problemas de operação da planta de tratar efluentes. Muitas vezes, até que o operador gosta dessa gestão do invisível: nada se vendo não há nada a se explicar! Fica tudo por conta do não-entendível. Em geral, criam-se teorias sem fundamentação teórica alguma, com a culpa quase sempre indo para a microbiota.

Recomendação nº 21: Valer-se de técnicas de controle estatístico de processo para monitoramento e tomada de decisões gerenciais na ETE. Incluir nessa avaliação as variáveis-chaves de processo, os consumos de insumos (inclusive energia) e os custos variáveis unitários da estação de tratamento de efluentes.

Recomendação nº 22: Rever sistematicamente seu projeto tecnológico para aperfeiçoá-lo. Alguns pontos que merecem atenção e ajustes na engenharia costumam ser**:**

- ✓ Instalação de seletor biológico anteriormente ao reator biológico;
- ✓ Instalação de injetores de oxigênio de alta pureza como complementação à oxigenação em casos de necessidade adicional de oxigênio;
- ✓ Instalação de filtros para remoção de sólidos suspensos em excesso no efluente tratado (quando da ocorrência de arraste de sólidos por diversas razões já enunciadas);
- ✓ Instalação de tocadores de calor nas áreas geradoras de efluentes quentes (condensados e efluentes do branqueamento) para reduzir a necessidade de se reduzir temperaturas de enormes volumes de efluentes;
- ✓ Trocar o conceito de utilização de torres de refrigeração com produção de neblinas para outros equipamentos de menor impacto ambiental e até mesmo estético, como já discutido em outras seções desse capítulo;
- ✓ Instalação de tratamentos tipo "kidney" em efluentes de baixo fluxo e de alta carga. Dentre esses tratamentos mais simples estariam: sistemas com

membranas, clarifloculação, tratamento anaeróbico, etc. Com isso, reduz-se a necessidade de passar todo o efluente bruto por um sistema mais efetivo, quando apenas um efluente setorial poderia sofrer esse tipo de tratamento.

Enfim amigos, alternativas existem e existirão sempre. Basta não se acomodar "acreditando que se dispõe da melhor estação de tratamento de efluentes do mundo e que não há nada mais a fazer, pois está tudo sob o mais completo controle"! É esse tipo de acomodação da alta administração das empresas que tenho muito receio.

Não são os microrganismos e nem os poluentes que me assustam, mas sim os geradores de efluentes e aqueles que decidem sobre os investimentos e os custos operacionais dos projetos das estações de tratamento de efluentes.

Seres vivos como a *Daphnia* ajudam a controlar os poluentes gerados pelo homem

==========

INVESTIGANDO AS CAUSAS RAÍZES DOS PROBLEMAS DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR LODOS ATIVADOS

Criação da arte: Alessandra Foelkel

Toda vez que tivermos um problema técnico, ao invés de sairmos "dando tiros para todos os lados", ou então, em ficarmos ligando desesperadamente aos nossos amigos ou fornecedores de tecnologias em processos e insumos para pedir ajuda, seria muito melhor que tomássemos algumas medidas iniciais para que elas pudessem nos ajudar a solucionar o problema. Dentre essas medidas, sugiro o seguinte?

Passo 01: Buscar os registros históricos da instalação para avaliação de situações semelhantes que tenham acontecido no passado e as soluções encontradas.

Passo 02: Buscar os indicadores de excelência operacional (obtidos em situações onde a instalação tenha operado bem por longos períodos de tempo, com bons resultados).

Passo 03: Comparar os dados atuais com os dados objetivados de bom desempenho operacional.

Pass0 04: Verificar se existem desvios em relação às melhores práticas operacionais propostas para essa unidade.

Passo 05: Colocar-se na posição de um auditor crítico do problema, indo pessoalmente "conversar com o problema, com os equipamentos e com os operadores". Essa conversa implica em tentar obter respostas para uma série de questões que nos ajudarão a encontrar as causas raízes do problema, porém, antes disso, executar o passo 06, que talvez seja o passo mais esquecido por todos.

Passo 06: Consultar a literatura especializada tais como: livros, artigos, revistas, apostilas, palestras, manuais, etc. – tudo muito facilmente atingido e conseguido nos dias de hoje pela internet. Navegar não apenas na literatura no idioma Português, mas também em Espanhol e Inglês.

Quando nos armamos para enfrentar um problema, dificilmente deixaremos de encontrar a solução para ele. Não adianta muito se enviar amostras para todos os lados (universidades e laboratórios de análises), numa tentativa desvairada de transferir o problema para quem ainda nada conhece sobre ele. Também, se não soubermos o que buscar, como pedir ajuda externa de quem esteja absolutamente ausente do problema? Estaremos apenas a empurrar o problema para o futuro e encontrando algumas justificativas para dizermos que estamos fazendo algo – embora, nada muito organizado ou orquestrado.

Em minha carreira de professor e de consultor tecnológico sempre procurei conversar com o problema para encontrar as causas raízes para que ele tenha surgido. Caso algumas avaliações externas ou extras tenham que ser realizadas, elas devem ser buscadas dentro dos propósitos de nos fornecerem dados com credibilidade para nos ajudar a entender mais do problema e de suas causas. Em caso de problemas que surjam no sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados, sempre recomendo se ir até a ETE, marcar um debate com os envolvidos e conversar na busca de respostas para perguntas objetivas que nos ajudem a encontrar as rotas das soluções tecnológicas. Sempre recomendo que se passem um ou dois dias "questionando coisas" com pessoas qualificadas e curiosas da equipe. Isso deve ser feito com muita atenção e qualidade, dispondo-se de todo um arcabouço de dados operacionais e técnicos das operações e das instalações. Portanto, são necessários dados históricos das operações e dos projetos, bem como as explanações sobre as melhores práticas em força. A participação dos operadores é vital.

Para que entendam um pouco sobre o que estou falando, procurarei colocar algumas perguntas que devem ser feitas para toda

a equipe responder. Elas servirão de estimulação aos debates para que as causas raízes do problema sejam encontradas.

♣ <u>Questões para serem feitas e respondidas em relação ao reator biológico</u>

- Existem grandes variações em fluxos, quantidades de alimentos (DBO) e residuais de oxigênio dissolvido no reator?

- Existem registros no sistema de situações com pH menor que 6; Índice Volumétrico de Lodo maior que 150; oxigênio dissolvido menor que 0,5 ppm e temperaturas acima de 38ºC? Quando? Onde?

- Existem registros de valores altos de SST no efluente saindo do clarificador secundário? Esses valores estariam relacionados a baixas relações F/M no reator?

- Existem descargas ocasionais de lixo químico no efluente bruto a ser tratado, como cinzas da caldeira de recuperação, lixiviado do sistema de lavagem dessas cinzas, ou então de sesquissulfato ácido de sódio emitido pela planta química de produção de dióxido de cloro?

- Existem regiões anóxicas no sistema biológico?

- Existe alguma possibilidade de se ter efluente séptico entrando no reator biológico?

- Existem bolsões de anaerobiose no sistema? Como o reator é impactado por isso?

- Quais os teores de substâncias facilmente metabolizáveis nos efluentes? Quais são os efluentes setoriais mais impactantes em termos de ácidos graxos voláteis e em conteúdo de sulfetos?

- Quais os efluentes setoriais mais críticos em concentrações de DBO, DQO, toxicidade e condutividade?

- Quais os valores para a relação F/M ao longo do processo?

- Há ocorrência de lodo flutuando ou de espumas biológicas na superfície do reator biológico? E do clarificador secundário?

- Qual a relação DBO/DQO do efluente equalizado e dos seus constituintes setoriais?

- Qual a relação SSV/SST na biomassa do reator biológico? Essa relação tem-se mantido estável?

- Como se fazem controles operacionais como: idade do lodo, relação F/M, taxa de recirculação de lodo ao reator, concentração de SSV no reator, oxigênio dissolvido, eficiências de tratamento, etc.?

- Como é medido o apetite por DBO do lodo reciclado?

- Há adequado uso do oxigênio adicionado ou se perde muito oxigênio para a atmosfera?

- Qual a taxa de adição de oxigênio ou de oxigenação em kg de oxigênio por kg de DBO entrando no reator biológico?

- As variações no oxigênio dissolvido se devem a: Problemas de medição? Locais de amostragem? Instrumentos de medição?

- Existem choques oxidativos causados por residuais de reagentes de branqueamento?

- Existem choques de pH no efluente equalizado que entra no reator biológico?

- Existem choques de cargas de DBO e DQO? E choques de condutividade?

- Utilizam-se balanços de massa para efetivos controles de fluxos mássicos ao longo do tratamento de efluentes?

- Qual a filosofia conceitual em relação aos controles dos efluentes setoriais? Existem evidências objetivas para se provar que o que se diz é o que se faz?

- Existem evidências de muitas anormalidades relatadas no reator nos registros diários de operação? Quais são elas e sobre o que versam os registros?

- Etc.

♣ <u>Questões para serem feitas e respondidas em relação ao seletor biológico (quando existente)</u>

- Quais as eficiências do seletor em termos de redução de DBO e DQO?

- Qual a relação F/M e a concentração de oxigênio dissolvido na entrada e saída do seletor biológico?

- Existem evidências de formação de flocos dentro do seletor?

- Existem bactérias filamentosas vivas e visíveis na superfície dos flocos na entrada e saída do seletor? Ou seriam apenas cadáveres de bactérias filamentosas?

- Qual a formação de massa biológica no seletor? Expressar em aumento de SSV.

- O seletor estaria ajudando ou prejudicando a formação de bactérias filamentosas? Se estiver prejudicando, por qual razão? Falta de oxigênio? Excesso de substâncias facilmente metabolizáveis? Falta de nutrientes?

- Etc.

- ♣ Questões para serem feitas e respondidas em relação ao clarificador secundário

- Existem evidências de desnitrificação ou de formação de espumas no clarificador secundário?
- Qual o teor de oxigênio na manta de lodo sendo formada no fundo do clarificador?
- O dimensionamento do clarificador é adequado?
- Existem lodos com altos valores de IVL? Eles conseguem ser reciclados com que nível de problemas adicionados ao sistema?
- Como estão os flocos de lodo na entrada do clarificador secundário? Existem muitos flocos dispersos e pequenos? Existem flocos volumosos com ricas cabeleiras de bactérias filamentosas? O manuseio de lodo estaria quebrando flocos bem formados e os tornando dispersos e pequenos?
- Existe septicidade no clarificador secundário?
- O lodo sendo estabilizado no clarificador consegue ter alimentos para prolongar sua atividade biológica e com isso perder peso? Qual a perda de peso de lodo no clarificador?
- Existem evidências de perversidades microbiológicas no clarificador secundário? Por exemplo: excessiva quantidade de SSV e SST a decantar? Flocos sobrenadantes?
- Etc.

- ♣ Questões para serem feitas e respondidas em relação à microbiologia do lodo e dos flocos

- Quais os microrganismos presentes no lodo? Entrada do reator? Saída do reator? Lodo estabilizado na saída do clarificador?
- Quais as dimensões e características dos flocos?
- Qual a cor do lodo estabilizado?

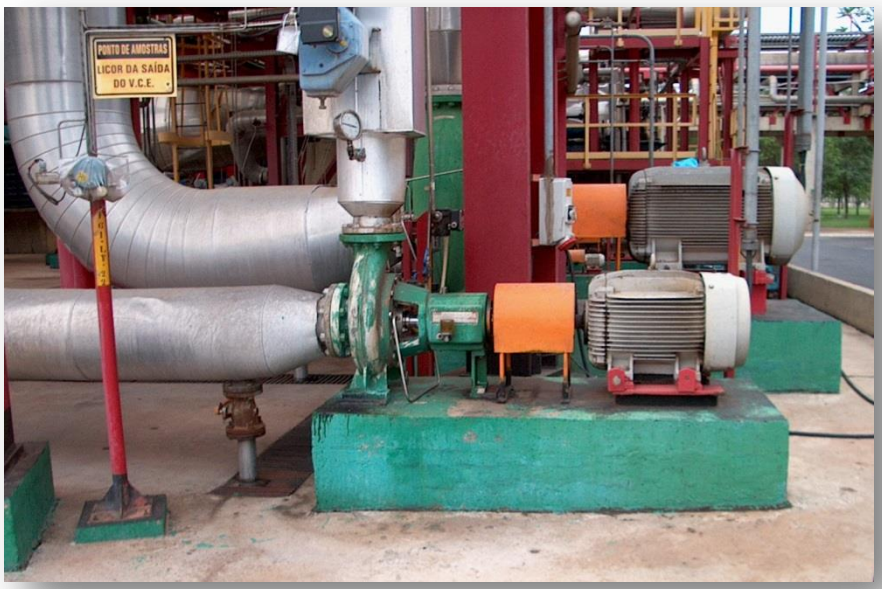
- Qual a cor do lodo na saída do reator biológico?
- O balanço nutricional está sendo adequado para manter uma biologia saudável no sistema de lodos ativados?
- Onde estão localizadas as bactérias filamentosas nos flocos?
- Quais os valores de IVL, oxigênio dissolvido e idade de lodo e quais as suas relações com a microbiologia do lodo no reator biológico?
- Etc.

♣ Questões para serem feitas e respondidas em relação à cloração para solução de problemas de excessiva presença de bactérias filamentosas

- Onde clorar o lodo? Com o que clorar? Hipoclorito ou cloro elementar?
- Qual o consumo de cloro ativo pelo lodo?
- Qual o consumo de cloro ativo pela DBO livre e pela DQO do lodo?
- Há evidências de prejuízos causados pela cloração na turbidez do efluente secundário?
- Há evidências de que a cloração esteja sendo efetiva para eliminar a vida dos organismos indesejáveis sem afetar significativamente os desejáveis contidos no interior dos flocos?
- Qual a dosagem de cloro ativo em relação ao que se propõe na literatura?
- Etc.

- ♣ <u>Questões sobre outros fatores chaves do sistema de lodo ativado</u>

- Existem evidências de toxicidade de efluentes setoriais?
- Quais os níveis de residuais de oxidantes (dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio) dos efluentes do branqueamento?
- Como se descartam as cinzas da caldeira de recuperação, o lixiviado da lavagem das cinzas e o sesquissulfato ácido de sódio da planta química?
- Existem políticas ou recomendações internas para evitar descarte de licores e de resíduos sólidos (lama de cal, cal queimada, "dregs" e "grits", etc.) para o efluente?
- Quais as orientações para o retorno de efluente da lagoa de emergência para o processo de tratamento de efluentes (câmara de equalização)?
- O dimensionamento de seletores, reatores e clarificadores estão adequados para os fluxos e cargas do sistema?
- Etc.



Sistemas ecoeficientes colaboram para minimização de problemas

Após debates e diálogos entre os interessados na solução do problema, não há como não se terem evidências de soluções e de encaminhamentos de estudos mais qualificados. Também fica mais claro todo o arcabouço tecnológico que circunda o problema – o que facilita seu entendimento. Quando necessário, é nessa hora que devem ser chamados especialistas externos e não antes de se clarear todo o ecossistema do problema. Quando os especialistas externos chegarem, com certeza o grupo estará muito mais preparado para debater e tentar encontrar com os especialistas as rotas tecnológicas da solução do problema.

Para que essa metodologia possa ser bem sucedida, os gerentes e os demais chefes hierárquicos precisam se despir de seus mantos de poder, exercitando um debate honesto, franco, aberto e sem vaidades pessoais. Por incrível que possa parecer, tenho tido diversas e expressivas experiências com a aplicação dessa técnica de resolução de problemas tecnológicos. As pessoas colaboram, trabalham felizes, não se sentem acuadas ou pressionadas e oferecem significativas contribuições para o grupo todo. Ajuda-se na construção da resolução do problema, sem receios de malvadezas da hierarquia. Porém, nem sempre é assim. É muito difícil para alguns se despirem do manto de poder, até porque para alguns, não há muito de conteúdo sendo coberto por esses mantos.

Entretanto, essas são outras histórias para serem contadas em alguma crônica de gestão empresarial, coisa que também gosto muito de refletir, escrever e atuar.

Nem tudo é divino e maravilhoso em nossas fábricas

==========

TRATANDO OS EFLUENTES DAS FÁBRICAS DE CELULOSE E PAPEL DE EUCALIPTO

Tenho tido oportunidades de conhecer magníficas estações de tratamento de efluentes em fábricas de celulose e papel de eucalipto. Entendo que elas refletem uma enorme preocupação dos investidores em controlar sua poluição e em estar dentro dos restritivos limites impostos pela legislação. Muito bom esse cuidado e essa preocupação por parte de nossos empresários e dirigentes de muitas de nossas fábricas. Entretanto, (sempre tenho uma tendência a encontrar algum tipo de entretanto, não é mesmo?) isso tudo consiste em tecnologias de final-de-tubo, baseadas no conceito de que a poluição existe e por isso mesmo devemos tratá-la.

Acontece, que essas estações de tratamento de efluentes que oferecem belíssimas fotos e muito orgulho de nossos técnicos, também têm seu impacto ambiental e ele não é pequeno. Elas consomem recursos naturais para serem construídas e operadas. Utilizam energia elétrica, água, produtos químicos, e geram resíduos em enormes quantidades, os principais dos quais são os lodos primário, secundário e terciário. A poluição hídrica acaba sendo transferida aos lodos - resíduos sólidos - a um grande custo ambiental e econômico. O lodo primário recebe os sólidos suspensos como fibras, fibrilas, finos celulósicos, cargas minerais, areia, etc. Os lodos secundário e terciário correspondem a uma significativa fração da antiga matéria orgânica dissolvida nos efluentes. São fantásticos os pesos e os volumes de lodos gerados no dia-a-dia de uma fábrica.

Como os lodos são difíceis de desaguar, seu peso seco é multiplicado por valores entre 3 a 6 vezes ao saírem úmidos. Mesmo que gerenciados, compostados, queimados, reciclados ou aterrados, eles representam impacto ambiental a ser evitado e minimizado. Muitas vezes, acabam virando passivos a serem monitorados para sempre.

Os investimentos que hoje estão sendo destinados para as ETE's - Estações de Tratamento de Efluentes e para as CRRS's - Centrais de Reciclagem de Resíduos Sólidos são enormes. Algumas empresas chegam ao exagero de comprar tratamentos com membranas (nanofiltração, ultrafiltração, osmose reversa) para todo o fluxo de efluentes, independentemente da qualidade das diferentes águas que vão compor esse efluente. Outras constroem extensos dutos que caminham por terras de terceiros por dezenas de quilômetros para dispor o efluente ao mar, onde acreditam que o impacto será menor. Tudo isso representa alta demanda de capital e custos de depreciação e de operação elevados. Com isso, a competitividade diminui proporcionalmente, não restam dúvidas. Ao invés de se reclamar do custo ambiental, talvez a solução esteja em mudar o modelo de controle ambiental.

Sempre tenho dito e repetido insistentemente que a solução da poluição é para ser resolvido onde ela é gerada, onde nossa tecnologia ou nossos operadores falham ao lançá-la para ser tratada. Não adianta muito se terem grandes perdas químicas e de sólidos suspensos para a ETE e depois se tirar um efluente tratado limpíssimo, quase água pura, que muitos dirigentes teimam ingenuamente em dizer que "pode até mesmo ser bebido". O impacto ambiental continua grande assim, apesar do efluente tratado ter características excelentes.

O desperdício ambiental aqui ocorre então de três formas:

- Pelo lançamento de "material bom" do processo ao efluente na forma de poluição;

- Pelas altas exigências ao tratamento de efluentes para tratar essas perdas;

- Pelas altas demandas em manejo, reciclagem, disposição e aterro dos lodos gerados.

Para mim, a solução ao problema do efluente em grande parte pode ser conseguida em função de respostas que dermos a uma frase muito simples: "o que eu devo fazer para reduzir as cargas em material orgânico (DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO - Demanda Química de Oxigênio); SST - Sólidos Suspensos Totais;

AOX (Compostos Halogenados Adsorvíveis), salinidade (condutividade); temperatura e fluxo do efluente bruto?" Por efluente bruto vamos chamar ao somatório de efluentes setoriais que é encaminhado para a ETE para ser tratado e que antes passa por uma etapa de mistura e neutralização, que já vimos ser chamada de etapa de equalização e neutralização. *Estamos falando de geração de efluente bruto e não tratado, ficou bem claro isso?*

Tenho mostrado muita determinação para cooperar para se alcançar uma adequada geração de efluentes e um mínimo consumo de água em nossas fábricas. Ao mesmo tempo em que tento motivar, procuro oferecer alternativas nas quais acredito. Portanto, prometo oferecer motivos para reflexões e ações. Nossa meta final seria então gerar menos efluentes hídricos e ao mesmo tempo alcançar as exigências do órgão legislador e controlador em termos de concentrações (ppm, ppb, etc.) e de cargas específicas (kg/adt) para os poluentes. É uma tarefa difícil, mas não impossível.

Tudo começa na forma de se projetar nossa fábrica. Em geral, os técnicos escolhem as suas tecnologias, às vezes as mais charmosas do momento, outras vezes as de menores custos. Após montar a fábrica, calculam as cargas de poluentes setoriais que serão geradas e as de águas a serem consumidas e projetam as estações de tratamento de água e de efluentes e o aterro industrial e/ou central de compostagem de resíduos sólidos. Evidentemente, muitas das modernas tecnologias estão muito otimizadas, desenhadas para trabalharem com maior ecoeficiência, não tenho dúvidas disso. Entretanto, o que proponho é exatamente a mudança de foco: pré-definir qual o volume de efluentes que deveremos tratar (efluente bruto) e quais as cargas máximas de poluentes que deverão chegar à ETE. E com um nível adequado de desafio...

Por exemplo, podemos definir que nossa fábrica terá uma geração específica de **efluente bruto equalizado** para oferecimento ao reator biológico, após tratamento primário, de 20 m³/adt, uma carga de DQO no mesmo de 25 kg/adt; de DBO de 10 kg/adt e de Sólidos Suspensos Totais de 3 kg/adt. Para ficar mais excitante, podemos pré-estabelecer que a temperatura máxima do efluente bruto ao sair da câmara de equalização deverá ser de no máximo 38ºC e com isso, a ETE não terá necessidade de uma torre de resfriamento de efluente.

Se voltássemos a raciocinar em limites para efluentes tratados, como edificamos nossa lógica até hoje, então colocaríamos nossos esforços de novo em construir enormes estações de tratar efluentes e não em solucionar o problema do despejo de poluentes ao longo de processo industrial.

Para se conseguir restringir a saída de poluição e de fluxos de efluentes de cada área setorial, existem alguns passos que lhes relatarei de forma bem simplificada.

Passo 01: Selecionar tecnologias de processo de mínimo impacto ambiental na geração de efluentes, tais como:

- Deslignificação com oxigênio sem gerar efluentes;

- Estágio para hidrolisar quimicamente os ácidos hexenurônicos da polpa;

- Branqueamento "ECF Light", que reconhecidamente oferece efluentes mais claros, apesar de ser possível uma maior remoção de hemiceluloses que geram DQO e DBO;

- Prensas lavadoras em toda a linha de fibras (mas que realmente resultem em polpas saindo com mais de 30% de consistência);

- Evaporação de altíssima eficiência e mínimo arraste de material aos condensados;

- Etc., etc.

Passo 02: Selecionar tecnologias de prevenção e que operem como barreiras às perdas de água, material orgânico dissolvido, fibras e compostos químicos, tais como:

- Eficiente sistema de prevenção de derrames, "spills", perdas;

- Tanques universais em todas as áreas da fábrica para conter as perdas setoriais e para retornar as mesmas ao processo e não as enviar ao tratamento de efluentes;

- Filtros de fibras para remover as fibras (sólidos suspensos) de filtrados tais como do branqueamento, máquina de secagem, licor preto, etc.;

- Filtros de fibras e de material descartado pelos "centricleaners" de massa branca, evitando com isso mandar esse material para o decantador primário. Esse material pode ser trabalhado em separado para recuperação de fibras em um sistema tipo "kidney" no local.

• Lavagem em contracorrente em toda a linha de fibras, com mínimas aberturas de processo;

• Etc.; etc.

Passo 03: Selecionar tratamentos setoriais tipo "kidney" (tipo "rim purificador") transferindo parte da responsabilidade de reter as perdas ou de tratar essas perdas às áreas geradoras das mesmas.

Podemos citar:

• Sistema de remoção de cloreto e de potássio das cinzas da caldeira de recuperação do licor;

• Sistema de recuperação da água de lavagem das toras para remoção de terra, areia, gravetos, etc.;

• Sistema eficiente de destilação de condensados para recuperação de gases e compostos voláteis poluentes e combustíveis (exemplo: metanol e terebintina);

• Trocadores de calor de contato indireto para recuperar o calor de filtrados do branqueamento e de condensados da evaporação;

• Sistema de membranas ou processos anaeróbicos para efluentes setoriais muito contaminados, evitando se misturar os mesmos a efluentes menos contaminados;

• Sistema de ajustes de pH no branqueamento e nos efluentes com uso de resíduos do processo (cal virgem, sesquissulfato ácido de sódio, etc.);

• Etc.; etc.

Passo 04: Fechamento de circuitos e reuso de águas do processo, com medidas tais como:

• Segregar todas as águas limpas e já usadas e encaminhar as mesmas para nova oportunidade na ETA - Estação de Tratamento de Águas e não ETE - Efluentes. Dentre essas águas destacam-se: águas de chuva, de selagem, de unidades hidráulicas, de bombas de vácuo, condensados limpos, etc.;

• Eliminar o uso de torres de refrigeração de águas que percam demasiada água para a atmosfera, usando tecnologias de maior nível de recuperação de águas;

• Utilizar trocadores indiretos de calor para líquidos quentes do processo (Branqueamento e Condensados) e depois resfriar a água quente gerada em torres de resfriamento de água e não de efluentes;

• Usar ao máximo o condensado limpo na lavagem de polpa;

• Usar ao máximo possível o condensado semi-limpo para preparar licor branco na área da caustificação e para molhar os cavacos na pilha de cavacos (enviando-o como umidade de madeira ao digestor);

• Etc.; etc.

Passo 05: Adotar o lema "Prevenir perdas e segregar águas" - é para trabalhar na prevenção e não apenas no final-de-tubo.

Passo 06: Eliminar o problema na origem. Há diversas situações onde sugiro eliminar a alternativa de descartar efluentes, simplesmente propondo eliminar qualquer saída de água da área via efluentes: planta química, caustificação, digestor, lavagem de polpa não-branqueada, caldeira de recuperação, etc.

Imaginem agora o seguinte: se conseguirmos reduzir por medidas preventivas e de fechamento de circuitos a geração de efluente bruto para 15 a 20 m³/adt, estaremos reduzindo em cerca de 30% a capacidade hidráulica da ETE em relação a fábricas modernas que estão operando hoje. E isso é absolutamente viável.

Caso consigamos trazer esse efluente bruto à ETE com menos de 40ºC e não mais com 65 a 70ºC - outro ganho ambiental e de simplificações na ETE - e isso também é viável.

Caso consigamos reduzir as perdas de fibras na fábrica e de terra na área de lavagem das toras, o tratamento primário será drasticamente reduzido a um pequeno clarificador para tratar somente os efluentes de alto teor de sólidos, sendo que a maioria do efluente sequer precisará de decantador primário por ter baixo teor de sólidos. Isso também é factível.

Caso consigamos reduzir as perdas de DQO a um valor de no máximo 20 - 25 kg/adt no efluente primário, reduziremos as exigências para o tratamento secundário biológico e seus resultados serão melhorados.

Quando eu digo que essas coisas são viáveis, apenas estou confirmando o que já se consegue em algumas fábricas existentes de mínimo impacto ambiental e operando no mundo. E elas também possuem espaço para melhorias.

Amigos, o tratamento de efluentes começa e deve ser praticado com intensidade no processo de fabricação de celulose, através prevenção, segregação e compromissos/especificações. As sofisticadas tecnologias de final-de-tubo são interessantes e necessárias, mas só depois de esgotarmos nossas alternativas no próprio processo.

Por essa razão, quando as exigências legais para sua fábrica forem grandes, não pense de imediato em colocar um tratamento terciário com sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio para flocular sua poluição hídrica e tirá-la como lodo. O impacto ambiental dessa clarifloculação também é muito grande, pois:

- Os compostos floculantes de alumínio apresentam ecotoxicidade tanto no corpo receptor como nos líquidos retornados para a ETE pelas sobras de filtrados no desaguamento de lodo terciário;

- Eles são demandantes de processos ambientalmente agressivos para sua produção;

- Ao serem utilizados, geram enormes quantidades de lodos. Os tratamentos terciários de clarifloculação com sulfato de alumínio representam cargas enormes de sulfato de alumínio (com 18 moléculas de água de constituição) base celulose (entre 12 a 25 kg secos/adt). Significativa proporção dessa carga de sulfato de alumínio sairá na forma de flocos de lodo (cerca da metade dela). O restante sairá como sulfato de alumínio dissolvido, com algum efeito residual no corpo receptor. Ou seja, para se remover algo como 5 a 10 kg de DQO/adt de celulose, acabam-se formando entre 15 a 22 kg de lodo terciário seco/adt de celulose. Atentem bem para a importância desses números.

Do exposto, pode-se notar que tendemos a gastar muitos recursos naturais pensando que estamos minimizando impactos ambientais, como por exemplo, reduzindo em algo a cor e a DQO

final do efluente tratado. Na verdade estaremos minimizando alguns efeitos e criando outros. Afinal, essa é a lei da Natureza, as coisas tendem a se movimentar em direções opostas, na busca do equilíbrio.

Hoje, com a modernização tecnológica e com compromissos da gestão ambiental das nossas fábricas, podemos ter valores excelentes de DBO, DQO, SST, sólidos sedimentáveis, turbidez, AOX, condutividade, cor aparente e verdadeira, temperatura nos efluentes secundários, etc. Basta garantirmos entrada na ETE de valores adequados no efluente bruto e equalizado. Para sua referência, apresentamos a seguir alguns valores já praticados em fábricas modernas e ecoeficientes do setor de fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto. Observem a comparação entre os valores de cargas unitárias viáveis para os efluentes brutos, após tratamento secundário e após terciário com clarifloculação com sulfato de alumínio.

Fábricas estado-da-arte de fabricação de celulose kraft branqueada:

Unidades em kg/adt	Efluente Bruto	Efluente Secundário	Efluente Terciário
DQO	23 – 26	6 - 9	1,5 - 3
DBO	5 - 7	0,25 – 0,45	0,15 – 0,3
AOX	0,2 – 0,25	0,04 – 0,07	0,02 – 0,05
SST	1,5 - 2	0,4 – 0,6	0,3 – 0,4
Cor Real	30 - 45	10 - 15	2 - 4
Condutividade (µS/cm)	2.000 – 3.000	2.500 – 3.000	3.000 – 3.500

Sob o ponto de vista ambiental, um adequado processo de retenção de perdas e de prevenção interna no processo acaba por gerar um efluente bruto de baixo impacto, que tratado por um tratamento biológico secundário pelo sistema de lodos ativados coloca-se como de muito boa qualidade e capacidade de ser recebido pela maioria dos corpos d'água.

Se as autoridades preferirem um tratamento terciário complementar devido à fragilidade do ecossistema receptor em questão, sugiro considerar um sistema de estabilização em lagoas e "wetlands" (leitos cultivados ou áreas inundadas construídas). Para isso precisaremos de área física ampla, mas a maioria das fábricas de celulose possui isso ao seu redor. Se for uma fábrica "greenfield" já

poderá incluir isso no projeto. Nada melhor do que deixar a própria Natureza se incumbir de tornar o nosso bom efluente secundário em um líquido naturalmente equilibrado e rico em vida. Alternativas existem - quanto mais naturais elas forem e de menor impacto, melhor ainda. Entretanto, não descartar um tratamento terciário físico-químico ou de microfiltração. Há situações onde é a melhor opção ou a única solução.

Como conclusão amigos, ao elaborarem uma avaliação de impacto ambiental de sua fábrica, aproveitem e façam uma para seu tratamento de efluentes também.

Nada melhor do que usar a metodologia da ACV - Análise do Ciclo de Vida. A partir dela, surgirão muitas e criativas ideias para tornar seu processo de tratar efluentes e sua fábrica de geração dos mesmos mais ecoeficientes e com menores impactos ambientais. Estaremos então falando não apenas no impacto causado pelos fluxos e qualidades do efluente em questão, mas de todo o processo envolvido na geração, tratamento e disposição desse efluente e de seus resíduos sólidos.

Toda atividade industrial de porte gera impactos ambientais, isso é uma realidade inquestionável. Porém, quanto mais os conhecermos, mais poderemos reduzi-los em intensidade, magnitude, frequência, amplitude, extensão, risco, etc. Nossas fábricas serão melhores e nossos tratamentos de efluentes serão também de mínimo impacto.

Tenho absoluta certeza de que se conhecendo bem a biotecnologia do sistema secundário por lodos ativados em seus conceitos e fundamentos teóricos poderemos melhorar significativamente os desempenhos das ETE’s, fazendo que o tratamento biológico possa ser mais efetivo, eficiente e de maior utilidade em relação aos níveis atuais.

Ao mesmo tempo, ao se oferecer um respeito a essa comunidade biológica que se esforça para biodegradar nossos efluentes e poluentes, estaremos associando aquilo que sempre proponho: ecoeficiência, respeito aos processos naturais e ganhos em competitividade e sustentabilidade. Para isso, não basta apenas equipamentos e processos estado-da-arte, mas principalmente gestão em todas as suas vertentes e compromisso das pessoas envolvidas.

Por falar em compromisso, isso também se consegue com respeito pessoal e fornecimento constante de educação científica e tecnológica para que essas pessoas possam entender o que estão fazendo ao operar as plantas e com isso, melhorar cada vez mais seu

trabalho. É pelo conhecimento que as inovações são mais facilmente desenvolvidas e onde a ciência encontra terreno fértil para crescer e florescer com mais intensidade. É pelo conhecimento que as pessoas crescem em valor e em desempenho. Infelizmente, alguns dirigentes empresariais não pensam assim.

Em direção a um mundo mais ecoeficiente

==========

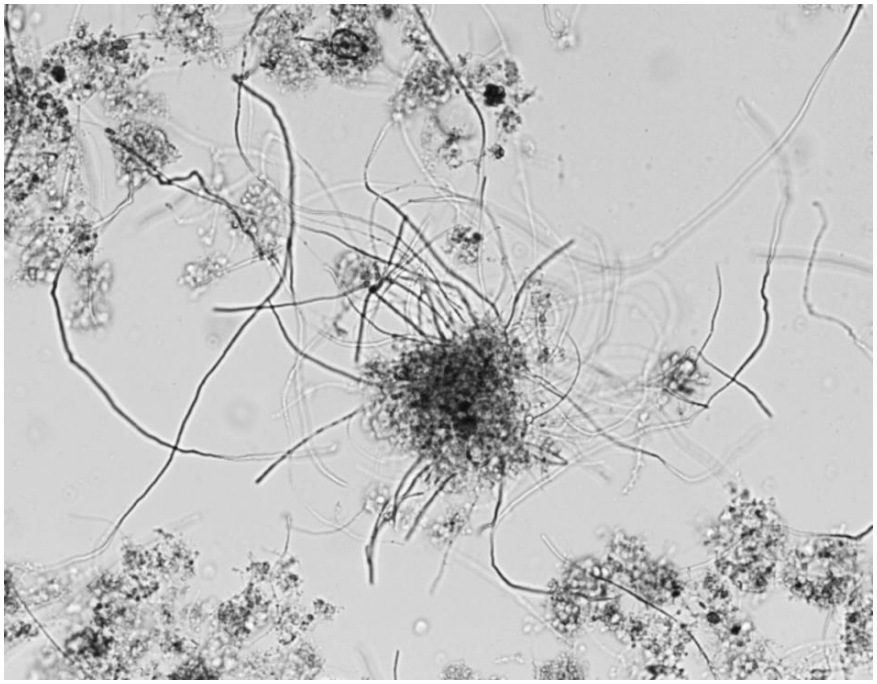
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modernas ETE's - Estações de Tratamento de Efluentes

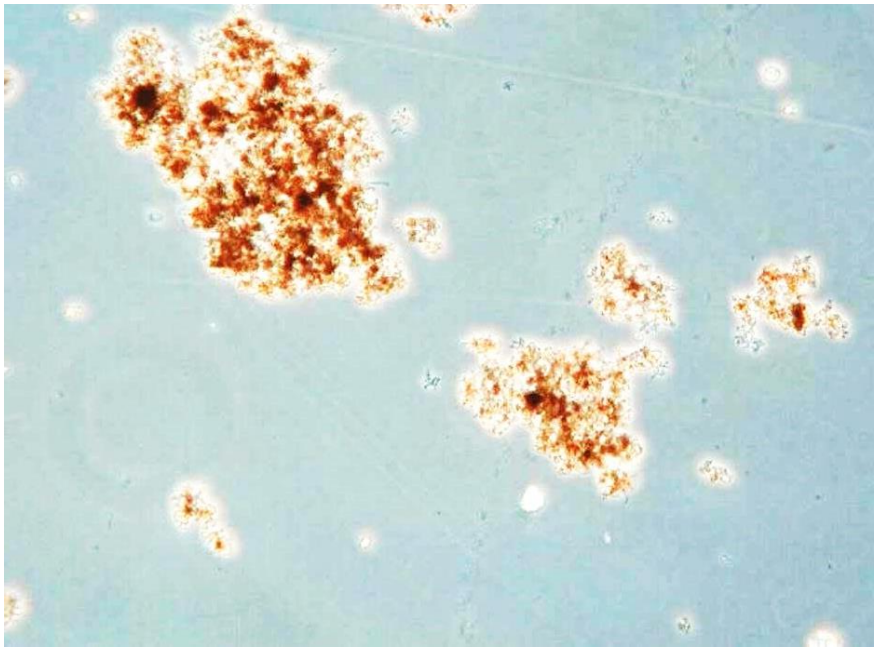
Para mim, foi um privilégio ter podido escrever esse capítulo do **Eucalyptus Online Book**. Ele foi criado com finalidades didáticas para descortinar os processos de tratamento dos efluentes gerados na fabricação tanto de celulose kraft branqueada como de papéis de eucalipto através do processo biotecnológico conhecido como lodo ativado. Eu até mesmo tenho dito que a missão desse capítulo foi "abrir a caixa preta" sobre esse processo biotecnológico e sobre o tratamento de efluentes para que todos nas nossas fábricas de celulose e papel possam entender mais sobre esse ecossistema ambiental de vital importância ao setor.

Também tem o objetivo de criar uma fonte aberta de informações públicas, com dezenas de ótimas referências da literatura, para que qualquer cidadão possa entender melhor os conceitos biotecnológicos básicos desse tipo de tratamento que não é exclusivo desse setor industrial. Procurei integrar fundamentos tecnológicos e biológicos com aplicações práticas operacionais e de gestão da ecoeficiência nesse setor. É um condensado autêntico e único de tudo que classifiquei de importante para aqueles que estão interessados em conhecer e aprender mais sobre esse tipo intrigante de biotecnologia.

Espero que o que escrevi possa lhes ser de utilidade, estimados amigos leitores.



Cabeleira de bactérias filamentosas em floco de lodo



Flocos de lodo biológico

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

A literatura sobre o tratamento de efluentes de fábricas de celulose e papel, valendo-se para isso de processo biotecnológico aeróbico do tipo conhecido como lodo ativado é vastíssima, isso em qualquer idioma que se buscar. Poderíamos facilmente compor um universo de milhares de bons artigos, mas isso acabaria se afastando do propósito inicial desse nosso capítulo. Por isso, procuramos selecionar um conjunto de textos valiosos e apropriados ao nosso cenário brasileiro e latino-americano. Aproveitamos a oportunidade para relacionar um número importante de artigos e palestras de eventos e revistas da nossa ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, pois estão definitivamente relacionados à própria história do crescimento dessa biotecnologia ambiental a partir dos anos 80's, quando ela passou a se instalar com mais significância no Brasil.

Com isso, identificamos mais de 200 bons artigos, palestras e websites que podem com facilidade orientar qualquer leitor que eventualmente deseje se aprofundar na temática que estamos cobrindo nesse capítulo. Caso os leitores tenham necessidades adicionais, podem perfeitamente obter complementações através da utilização de ferramentas de busca na web.

Espero sinceramente que essa seleção de textos e websites referenciados possa lhes ser útil.

Efluentes merecem atenção e respeito – não podem ser ignorados ou desprezados. Merecem também pesquisas e estudos, mesmo em improvisadas plantas piloto.

Activated Sludge Information Center. Acesso em 14.03.2014:

http://www.asissludge.com (Website – em Inglês)

e

http://www.asissludge.com/filament.htm ("Filamentous organisms" – em Inglês)

e

http://www.asissludge.com/Bulking.htm ("Bulking" – em Inglês)

e

http://www.asissludge.com/actslud.htm ("Activated sludge" – em Inglês)

e

http://www.asissludge.com/Scripts/d11000000.htm ("*Sphaerotilus natans*" – em Inglês)

e

http://www.asissludge.com/Scripts/d22120000.htm ("*Thiothrix*" – em Inglês)

e

http://www.asissludge.com/Scripts/d22211220.htm ("*Nostocoida limicola* I – em Inglês)

Blog da Aplysia. Acesso em 14.03.2014:

http://aplysia.com.br/blog/sobre/

e

http://aplysia.com.br/blog/13-08-2010/saiba-como-as-bacterias-filamentosas-ajudam-a-aumentar-a-performance-das-estacoes-de-tratamento-dos-efluentes-industriais/ (Artigo "Saiba como as bactérias filamentosas ajudam a aumentar a performance das estações de tratamento dos efluentes industriais")

e

http://aplysia.com.br/blog/11-12-2009/estudo-o-efeito-da-condutividade-no-tratamento-biologico-de-um-efluente-industrial/ (Artigo "O efeito da condutividade no tratamento biológico de um efluente industrial")

Water/wastewater distance learning website. Mountain Empire Community College. Acesso em 14.03.2014:

http://water.me.vccs.edu/subject.htm (Cursos – em Inglês)

Environmental microbiology. Professora Rosa-Lee Cooke Website. Mountain Empire Community College. Acesso em 14.03.2014:

http://water.me.vccs.edu/courses/env108/Env108.html (Curso - em Inglês)

http://water.me.vccs.edu/courses/env108/lessons.htm (Aulas - em Inglês)

Introduction to water and wastewater treatment technology. Professora Rosa-Lee Cooke Website. Mountain Empire Community College. Acesso em 14.03.2014:

http://water.me.vccs.edu/courses/ENV110/index.htm (Curso - em Inglês)

http://water.me.vccs.edu/courses/ENV110/ENV110Lessons.htm (Aulas - em Inglês)

Wastewater treatment plant operation. Professora Rosa-Lee Cooke Website. Mountain Empire Community College. Acesso em 14.03.2014:

http://water.me.vccs.edu/courses/ENV149/env149.html (Curso - em Inglês)

http://water.me.vccs.edu/courses/ENV149/env149_lessons.htm (Aulas - em Inglês)

Photo Gallery – "Mystery bug of ther month". Environmental Leverage. Acesso em 14.03.2014:

http://www.environmentalleverage.com/2008/free%201-08/photo%201-2008.htm (em Inglês)

Municipal wastewater treatment. Environmental Leverage. Acesso em 14.03.2014:

http://www.environmentalleverage.com/industry/municipal/municipal.html (em Inglês)

Introduction to microbiology. Toprak Wastewater Engineering. Acesso em 14.03.2014:

http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/aryen4.html (em Inglês)

Activated sludge process. Toprak Wastewater Engineering. Acesso em 14.03.2014:

http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/acti.html (Curso em 14 módulos – em Inglês)

Selector... Metabolic selection in activated sludge... Toprak Wastewater Engineering. Acesso em 14.03.2014:

http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana55/76ani.html (em Inglês)

Wastewater Treatment Systems Course PAPR 3531. V. Maltby; D. McLaughlin; W. Thacker; L. Eppstein; J. Beebe. Western Michigan University. Acesso em 14.03.2014:

http://homepages.wmich.edu/~maltby/PAPR3531/ (Website da disciplina – em Inglês)

e

http://homepages.wmich.edu/~maltby/PAPR3531/lectures/sludge-bulking.pdf ("Sludge bulking" – em Inglês)

e

http://homepages.wmich.edu/~maltby/PAPR3531/lectures/secondary-treatment.pdf ("Secondary treatment overview" – em Inglês)

e

http://homepages.wmich.edu/~maltby/PAPR3531/lectures/activated-sludge.pdf ("Activated sludge" – em Inglês)

Popularization of wastewater treatment in Vojvodina biological wastewater treatment - activated sludge process. Riparia online. Riparia - Association of Naturalists. Acesso em 14.03.2014:

http://www.riparia.org.rs/aqua/activated-sludge.htm (em Inglês)

Foaming in wastewater treatment plant (WWTP). MicrobeWiki. Acesso em 14.03.2014:

http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Foaming_in_wastewater_treatment_plant_(WWTP) (em Inglês)

Website do Professor Hugo Guedes. Curso de Engenharia Civil. UFPel – Universidade Federal de Pelotas. Acesso em 14.03.2014:

http://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/ensino/tratamento-de-agua-e-esgoto/

Website do Professor Eduardo Lucena C. de Amorim. UFA – Universidade Federal de Alagoas. Acesso em 14.03.2014:

http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/

e

https://sites.google.com/site/elcaufal/disciplinas (Disciplinas)

e

https://sites.google.com/site/elcaufal/disciplinas/sistemas-de-informacao (Disciplina "Tratamento de águas residuárias")

e

https://sites.google.com/site/elcaufal/disciplinas/programacao-para-internet (Disciplina "Técnicas experimentais em controle ambiental")

Portal Tratamento de Águas. Acesso em 14.03.2014:

http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca_Lista.aspx (Biblioteca com artigos disponibilizados)

e

http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Video_Lista.aspx (Vídeos disponibilizados)

Ferramentas de controle ambiental utilizadas por fábricas de celulose e papel. A.L.F. Piedade; T.H. Furley. Aplysia Tecnologia para o Meio Ambiente. Acesso em 11.03.2014:

http://institutoaplysia.com.br/wp-content/uploads/2011/09/Ferramentas-de-controle-ambiental.pdf (13 pp.)

e

http://www.eucalyptus.com.br/icep02/piedade_furley.pdf (09 pp.)

Sistema de lodos ativados. C.E. Silva. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Apresentação em PowerPoint: 24 slides. Acesso em 07.03.2014:

ftp://ftp.unilins.edu.br/regiel/Gest%E3o%20Ambiental%202013/Lodos%20Ativados/A4.pdf

e

http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A4.pdf

e

http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/c862b23fa799314b7190be58990d50ff.htm (Disciplina "Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais")

Filamentous bulking control with hydrogen peroxide. U.S. Peroxide. Acesso em 07.03.2014:

http://www.h2o2.com/industrial/applications.aspx?pid=103&name=Filamentous-Bulking-Control (em Inglês)

Lodos ativados. Vivendi Water Systems Brazil. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. Acesso em 07.03.2014:

http://www.slidefinder.net/p/processo_nitrifica%C3%A7%C3%A3o/32342344

Minimização de efluentes no processo industrial. J.L. Papa. Acqua Engenharia e Consultoria. 08 pp. Acesso em 07.03.2014:

http://www.acquaeng.com.br/wp-content/uploads/2010/01/mepi.pdf

Microbiologia de lodos ativados – uma ferramenta fundamental no gerenciamento das ETEs. A.L.F. Piedade. Acqua Consulting Soluções Ambientais. 09 pp. Acesso em 07.03.2014:

ftp://ftp.unilins.edu.br/regiel/Gest%E3o%20Ambiental%202013/Lodos%20Ativados/microbiologia%20de%20lodos%20ativados.pdf

Tratamento de resíduos e impactos ambientais. C.E. Silva. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Acesso em 07.03.2014:

http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/c862b23fa799314b7190be58990d50ff.htm (Aulas)

e

http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A1.pdf (Sistemas de tratamento)

e

http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A2.pdf (Tratamento preliminar - 1)

e

http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A3.pdf (Tratamento preliminar - 2)

Lodos ativados. Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Acesso em 07.03.2014:

http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lodosativados.html

Indicadores ambientais de ETEs. Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Acesso em 07.03.2014:

http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/indicadores.html

Cone Imhoff – Imagens. Pesquisa Imagens Google. Acesso em 07.03.2014:

https://www.google.com.br/search?q=cone+imhoff&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=mqU2U8nCFujPsASVyIGQDA&sqi=2&ved=0CCkQsAQ&biw=1280&bih=521

Tratamento de efluente por processo de lodo ativado. Blog Analiseagua. Acesso em 07.03.2014:

http://analiseagua.blogspot.com.br/2013/06/tratamento-de-efluente-por-proceso-de.html

Análise de DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio. Blog Analiseagua. Acesso em 07.03.2014:

http://analiseagua.blogspot.com.br/2013/02/analise-da-dbo-demanda-bioquimica-de.html

Análise de DQO – Demanda Química de Oxigênio. Blog Analiseagua. Acesso em 07.03.2014:

http://analiseagua.blogspot.com.br/2013/08/analise-da-dqo-demanda-quimica-de.html

Settling test using a settlometer. Videos YouTube. Canal philk1140. Acesso em 07.03.2014:

http://www.youtube.com/watch?v=GTLKoGGo0dM (em Inglês)

Activated sludge microbiology (*Microbiologia de lodos ativados*). Busca em Vídeos YouTube. Acesso em 07.03.2014:

http://www.youtube.com/results?search_query=%22activated%20sludge%22%20microbiology&sm=3 (em Inglês)

e

http://www.youtube.com/results?search_query=%22lodo%20ativado%22%20microbiologia&sm=12 (em Português)

Activated sludge microbiology poster. R. Marshall; M. Richard. METC Group. Acesso em 07.03.2014:

http://metcgroup.com/Poster.html (em Inglês)

METC Group - Marshall Environmental Training and Consulting Group. Acesso em 07.03.2014:

http://metcgroup.com/index.html (em Inglês)

Wastewater microbiology. Microscopic review and filaments. S. Leach. Novozymes Biologicals. Apresentação em PowerPoint: 47 slides. Acesso em 07.03.2014:

http://ifmenviro.com/pdf/Wastewater_Microbiology_presentation.pdf (em Inglês)

Wastewater tips and tricks. Meniscus – United Kingdom. Acesso em 07.03.2014:

http://www.meniscus.co.uk/page.php?article=959&name=How+Activated+Sludge+Works ("How activated sludge works" – em Inglês)

e

http://www.meniscus.co.uk/page.php?article=964&name=Bulking+In+The+Activated+Sludge+Process ("Bulking in the activated sludge process" – em Inglês)

e

http://www.meniscus.co.uk/page.php?article=966&name=What+is+the+FM+Ratio ("What is the F/M ratio" – em Inglês)

Laccases for waste water. Metgen – The Art of Biocatalysis. Acesso em 07.03.2014:

http://www.metgen.com/laccases_water.php (em Inglês)

Identification & control of filamentous bacteria. T. Glymph. Wisconsin Wastewater Operators' Association. Apresentação em PowerPoint: 134 slides. (2013)

https://www.wwoa.org/files/publishedpapers/2013/Microbiology/Identification%20and%20Control%20of%20Filamentous%20Bacteria.pdf (em Inglês)

Wastewater microbiology and process control. T. Glymph. Wisconsin Wastewater Operators' Association. Apresentação em PowerPoint: 265 slides. (2013)

https://www.wwoa.org/files/publishedpapers/2013/Microbiology/Wastewater%20Microbiology.pdf (em Inglês)

Filament identification guide. T. Glymph. Wisconsin Wastewater Operators' Association. 10 pp. (2013)

https://www.wwoa.org/files/publishedpapers/2013/Microbiology/APPENDIX%20B%20-%20Filament%20Identification%20Guide.pdf (em Inglês)

A laboratory program for wastewater microbiology. T. Glymph-Martin. Wisconsin Wastewater Operators' Association. Apresentação em PowerPoint: 46 slides. (2013)

https://www.wwoa.org/files/publishedpapers/2013/Microbiology/A%20Laboratory%20Program%20for%20Wastewater%20Microbiology_Short%20Version.pdf (em Inglês)

Microbiologia de lodos ativados: uma ferramenta fundamental no gerenciamento das ETEs. Acqua Consulting. CeluloseOnline. (2013)

http://www.celuloseonline.com.br/artigos/print/Microbiologia+de+lodos+ativados++uma+ferramenta+fundamental+no+gerenciamento+das+ETEs

Operação e controle no tratamento secundário de efluentes. T. Santi. O Papel (Janeiro): 24 – 26. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Controle_biologia.pdf

Redução da variabilidade operacional no tratamento de efluentes e o aumento da eficiência no tratamento biológico. F. Carli; A.C. Meneses; H.L.A. Batista. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Reducao_Variabilidade.pdf

Redução da variabilidade operacional no tratamento de efluentes e o aumento da eficiência no tratamento biológico. F. Carli; A.C. Meneses; H.L.A. Batista. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 13 slides. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Reducao-variabilidade.pdf

Studies on wastewater treatment plant performance measurements. R. Kopra; S. Toivakainen; P. Tolonen; T. Tirri; T. Laukkanen; O. Dahl. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 26 slides. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Performance_comparisons.pdf (em Inglês)

Studies on wastewater treatment plant performance measurements. R. Kopra; S. Toivakainen; P. Tolonen; T. Tirri; T.

Laukkanen; O. Dahl. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Performance_evaluations.pdf (em Inglês)

Utilização de rede neural artificial para predição da qualidade do efluente tratado de uma fábrica de celulose kraft. L.S. Caux; F.V. Dias; G.F.M. Machado; E.R. Sá; V.C. Oliveira; L. Dalvi. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Predicao_efluentes.pdf

Reducing production of excess activated sludge in bleached kraft pulp mill effluent treatment. T.V. Stoppa; A.H. Mounteer; P.H.G. Alves; F.H.C. Gomes. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Reducao_lodo.pdf (em Inglês)

Reducing production of excess activated sludge in bleached kraft pulp mill effluent treatment. T.V. Stoppa; A.H. Mounteer; P.H.G. Alves; F.H.C. Gomes. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Reductions_sludge.pdf (em Inglês)

Tratamento de águas e efluentes com peróxido de hidrogênio: possibilidades interessantes para a indústria de celulose e papel. L.A.C. Teixeira; P. Patriarca; J.M. Bonfatti; M. Mondoni. 46º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2013_Tratamento_H2O2.pdf

Biotecnologia ambiental. M.C. Cammarota. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 109 pp. (2013)

http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/apostila_eqbB365.pdf

Lodos ativados. H.A.S. Guedes. UFPEL – Universidade Federal de Pelotas. Arquivo em PowerPoint: 47 slides. (2013)

http://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/

Redução de sólidos no efluente tratado utilizando a análise microbiológica como ferramenta de gestão. Case Avelino Bragagnolo. A.L.F. Piedade; E. Lima. I Semana de Celulose e Papel de Três Lagoas. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel.Apresentação em PowerPoint: 21 slides. (2013)

http://www.abtcpblog.org.br/blog95/05_PAINELMEIOAMBIENTE/03_ANA_LUIZA_FAVARO_ACQUACONSULTING.pdf

Uso de cloro no controle de bactérias filamentosas em lodos ativados de indústria frigorífica. A.A. Yano; L.A. Gomes. Revista Ambiente & Água 8(2): 146 – 156. (2013)

http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/download/1104/1314

Aspectos técnicos relevantes para o dimensionamento de sistemas de tratamento biológico aeróbio e anaeróbio. P. Além Sobrinho. Escola Politécnica. USP – Universidade de São Paulo. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. (2013)

http://hiria.com.br/html/FTEC/pdfs-link-temporario/Pedro-Alem-Sobrinho.pdf

Metodologia de tratamento de lamas e organização do balanço de massas. J.F.S. Santos. Dissertação de Mestrado. ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 116 pp. (2012)

http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/1803/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf

Aplicação da flotação por ar dissolvido como pós-tratamento de efluente de lodo ativado em uma indústria de papel e celulose. L. Quartaroli. Dissertação de Mestrado. UNICENTRO - Universidade Estadual do Centro-Oeste. 112 pp. (2012)

http://www.unicentrocienciasflorestais.com/site/destino_arquivo/larissa_quartaroli.pdf

Estudo sobre o controle do intumescimento filamentoso, utilizando cloro em lodos ativados de indústria alimentícia. A.A. Yano. Dissertação de Mestrado. UFMT – Universidade Federal do Mato Grosso. 90 pp. (2012)

http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/52.pdf

Estudos de viabilidade de tratamento de efluente de indústria de celulose kraft por reator biológico com leito móvel (MBBR). S.C. Vanzetto. Dissertação de Mestrado. UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 53 pp. (2012)

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/333/1/CT_PPGCTA_M_Vanzetto,%20Suelen%20Cristina_2012.pdf

RESUMO: Evaluating the potential of effluents and wood feedstocks from pulp and paper mills in Brazil, Canada, and New Zealand to affect fish reproduction: chemical profiling and in vitro assessments. C.B. Milestone; R. Orrego; P.D. Scott; A. Waye; J. Kohli; B.I. O'Connor; B. Smith; H. Engelhardt; M.R. Servos; D.L. MacLatchy; D.S. Smith; V.L. Trudeau; J.T. Arnason; T. Kovacs; T.H. Furley; A.H. Slade; D.A. Holdway; L.M. Hewitt. Environmental Science and Technology 46: 1849 – 1858. (2012)

http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es203382c (em Inglês)

Controle da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de celulose e papel da região meio oeste de Santa Catarina. J.C. Azzolini; L.F. Fabro. UNOESC & Ciência 3(1): 75 – 90. (2012)

http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/download/1500/pdf

Estudo da biotratabilidade de efluentes setoriais de uma fábrica de celulose kraft branqueada por sistema de lodos ativados. L.A. Batista; C.M. Silva; N.M. Vieira; L.S. Santos; G.R. Rodrigues. 45º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2012)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2012_BIOTRATABILIDADE.pdf

Busca da excelência na gestão de tratamento de efluentes em fábrica integrada de celulose e papel. A.C. Oliveira Filho; S. Barbosa S. Júnior; J.C.P. Souza; J.E. Araújo; M. Gonzaga. 45º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 28 slides. (2012)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2012_Busca_excelencia_ETEs.pdf

Busca da excelência na gestão de tratamento de efluentes em fábrica integrada de celulose e papel. A.C. Oliveira Filho; S. Barbosa S. Júnior; J.C.P. Souza; J.E. Araújo; M. Gonzaga. 45º

Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 14. (2012)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2012_GESTAO_TRATAMENTO_EFLUENTES.pdf

Estudo e otimização da estação de tratamento secundário da Celbi, S.A. P.M.A. Jordão. Monografia de Conclusão de Curso. Instituto Politécnico de Tomar. 108 pp. (2012)

http://comum.rcaap.pt/bitstream/123456789/5848/1/Tese%20Pedro%20Jord%c3%a3o-%20novembro_2012.pdf

Tratamento de efluentes da indústria de celulose por processos biológicos e químicos. L.S.G. Fernandes. Dissertação de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 107 pp. (2011)

http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/2908/1/msc_lsgfernandes.pdf

Efecto de los cambios de producción de celulosa en la planta de tratamiento de efluentes. A.R. Jiménez Mancinelli. Dissertação de Mestrado Profissional. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 59 pp. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2972/188099_c.pdf?sequence=2 (em Espanhol)

e

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3753 (em Espanhol)

Adaptación de un processo de lodos activados en una planta de celulosa utilizando elementos de crecimiento adherido. J.P. Mesa Mansilla. Dissertação de Mestrado Profissional. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 48 pp. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2976/188118_c.pdf?sequence=2 (em Espanhol)

Tratamento de efluentes da indústria de polpa kraft branqueada: lodos ativados versus reator de biofilme e leito móvel. N.R. Rezende. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 73 pp. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2943/187443_c.pdf?sequence=2

Contribuição para o estudo do processo de lamas ativadas com vista à redução de custos de operação. S.N. Inocêncio. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Nova de Lisboa. 132 pp. (2012)

http://run.unl.pt/bitstream/10362/8526/1/Inocencio_2012.pdf

Identifying different types of bulking in an activated sludge system through quantitative image analysis. D.P. Mesquita; A.L. Amaral; E.C. Ferreira. Chemosphere 85: 643 – 652. (2011)

http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16618/1/3732.pdf (em Inglês)

Controlling activated sludge bulking & foaming: from theory to practice. E. Lynne; B. Marten. Wisconsin Wastewater Operators Association. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2011)

http://www.wwoa.org/files/publishedpapers/2011_08_17%20Controlling%20Activated%20Sludge%20Bulking%20and%20Foaming%20-%20From%20Theory-%20to%20Practice%20by%20Marten_Lynne.pdf (em Inglês)

Tratamento de efluentes líquidos. M.C. Cammarota. Disciplina EBQ – Engenharia do Meio Ambiente. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 72 pp. (2011)

http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf

Mecanismos de remoção de compostos orgânicos no sistema de lodos ativados de uma fábrica de polpa kraft branqueada de eucalipto. C.L.S. Rodrigues. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 87 pp. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2931/Disserta%c3%a7ao_Cleuber-Lucio-da-Silva-Rdrigues.pdf?sequence=1

Utilização dos conceitos da ecoeficiência na gestão do consumo de água e da geração de efluentes hídricos no processo de fabricação de celulose kraft de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 23. 145 pp. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT23_AguasEfluentes.pdf

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 03: Lodos & lodos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 20. 191 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT20_LODOS.pdf

Caracterização da atividade biológica de efluente de polpa kraft branqueada de eucalipto antes e após tratamento por lodos ativados e ozônio. A.C. Lopes. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 93 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2875/Disserta%C3%A7ao_Alessandra-Cunha-Lopes.pdf?sequence=1

e

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2590

Operator's guide to activated sludge bulking. M. Lever. 35th Annual Queensland Water Industry Operations Workshop. 07 pp. (2010)

http://www.wioa.org.au/conference_papers/10_qld/documents/michaellever.pdf (em Inglês)

Sistemas de tratamento de efluentes industriais. G.E. Silveira. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 42 pp. (2010)

http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35193/000792974.pdf?sequence=1

Capítulo 2. Microbiologia de lodos ativados. V.S.L. Costa. In: "Avaliação de efeito tóxico utilizando o método respirométrico em processos de lodos ativados". PUC-Rio. 17 pp. (2010)

http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/15510/15510_3.PDF

Causas da queda de performance de sistemas de tratamento biológico de efluentes de celulose e papel. T.H. Furley. 43º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 37 slides. (2010)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2010_Queda_desempenho.pdf

Minimização de efluentes em uma fábrica de polpa kraft "Lo Solids" branqueada de eucalipto. L.J. Moreira. Dissertação de Mestrado Profissional. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 23 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2874/181370_c.pdf?sequence=2

Troubleshooting the causes of bulking sludge. D. Wagoner. North Carolina AWWA-WEA Spring Conference. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2010)

http://www.ncsafewater.org/Pics/Training/SpringFling/SC2010/SC10Presentations/WW.Monday.PM.0130.Wagoner.pdf (em Inglês)

Optimização do tratamento por lamas activadas do efluente líquido da Mundo Têxtil. R.A.M. Ferreira. Dissertação de Mestrado. ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto. 150 pp. (2010)

http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2734/3/DM_RicardoFerreira_2010_MEQ.pdf

Distinção de fenómenos de *bulking* em lamas activadas por técnicas de análise de imagem. A.L. Amaral; D.P. Mesquita; E.C. Ferreira. XIV SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 16 pp. (2010)

http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16760/1/3096.pdf

Avaliação da eficiência da ozonização combinada com o tratamento por lodos ativados de efluentes de fábricas de celulose kraft branqueada. D.S.A. Silveira. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 93 pp. (2009)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2395

e

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2848/Disserta%c3%a7ao_Daniella-Sette-Abrantes-Silveira.pdf?sequence=1

Contribuição para o estudo do fenómeno do "bulking". L. Tavares. Universidade Nova de Lisboa. Dissertação de Mestrado. 159 pp. (2009)

http://run.unl.pt/bitstream/10362/2525/1/Tavares_2009.pdf

Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da CETREL. G.S.S. Oliveira; C.V.M. Araújo; J.G.S. Fernandes. Engenharia Sanitária e Ambiental 14(2): 183 – 192. (2009)

http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n2/a06v14n2.pdf

Caracterização de comunidades bacterianas mesófilas e termófilas em biorreatores a membrana durante o tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. N.M. Vieira.

Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 114 pp. (2009)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2559

e

http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=174573

Capítulo IX: Tecnologias limpias. E. González Suárez. In: "Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008". M.C. Area. RIADICYP. 44 pp. (2008)

http://www.riadicyp.org.ar/images/stories/Libro/capituloix.pdf (em Espanhol)

Capítulo X: La industria de pulpa y papel y el medio ambiente. M.C. Area; C.R. Antúnez; P. Mutje; M.A. Pelach. In: "Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008". M.C. Area. RIADICYP. 51 pp. (2008)

http://www.riadicyp.org.ar/images/stories/Libro/capitulox.pdf (em Espanhol)

A aplicação do sistema de lodos ativados de baixa carga combinado com um seletor aeróbico para atender aos rigorosos padrões de emissão de efluentes tratados na indústria de celulose e papel. P.A. Woodhead; D.C. Meissner. 41º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2008)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/06_2008_Tratamento%20avancado%20efluentes.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2008_Sistemas_baixa_carga_seletor.pdf

Avaliação ecotoxicológica e efluentes de celulose branqueada de eucalipto ao longo do tratamento biológico. D.V.R. Martins. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 85 pp. (2008)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2768/157164_c.pdf?sequence=2

e

http://www.dec.ufv.br/modules/mastop_publish/files/files_4cacd6c71b9ed.pdf

Tratamento de efluentes do branqueamento de polpa celulósica por processos oxidativos avançados baseados em

ozônio. D.R. Medeiros. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 223 pp. (2008)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27022009-155513/publico/DanielMedeirosTese.pdf

Tratando os efluentes hídricos das fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 18. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_dez08.html#quatorze

Tratamento termofílico aeróbio de efluente de máquina de papel utilizando biorreator a membranas. C.A. Sousa. Tese de Doutorado. UFV - Universidade Federal de Viçosa. 143 pp. (2008)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1543

e

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/69/Tese_Claudio-Arcanjo-de-Sousa.pdf?sequence=1

Determination of volatile fatty acids in environmental aqueous samples. E.M. Siedlecka; J. Kumirska; T. Ossowski; P. Glamowski; M. Gołębiowski; J. Gajdus; Z. Kaczyński; P. Stepnowski. Polish Journal of Environmental Studies 17(3): 351 – 356. (2008)

http://www.6csnfn.pjoes.com/pdf/17.3/351-356.pdf (em Inglês)

Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. L. Cordi; M.R. Assalin; M.C. Diez; N. Duran. Engenharia Ambiental 5(1): 97 – 115. (2008)

http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=258&article=115&mode=pdf

Caracterização e tratamento de efluentes setoriais da CENIBRA. L.C. Dalvi; L.C. Souza; C.C.J. Guimarães; M.F. Silveira; B.A. Barony. 41º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 27 slides. (2008)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/11_2008_Caracterizacao%20tratamento%20efluentes%20setoriais.pdf

Modelagem e análise de sensibilidade do processo de tratamento de lodo ativado com reciclo. A.L.L. Levy. Dissertação de Mestrado, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 149 pp. (2007)

http://teses2.ufrj.br/Teses/COPPE_M/AnaLuciaLisbonaLevy.pdf

Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel. J.C.A. Mieli. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 111 pp. (2007)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/3/TDE-2008-02-27T064616Z-996/Publico/texto%20completo.pdf

e

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/54/Tese_Joao-Carlos-de-Almeida.pdf?sequence=1

Combinação de tratamento biológico aeróbico com processos oxidativos avançados visando intensificar a remoção de matéria orgânica em efluentes da indústria têxtil e de celulose kraft. R.O. Pereira. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 100pp. (2007)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=729

Avaliação dos efeitos do recebimento do lodo de estação de tratamento de água em sistema de tratamento de esgoto pelo processo de lodo ativado com aeração prolongada. L.N. Asada. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 211 pp. (2007)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-27072007-180523/publico/UNIDISGILrevisao.pdf

Avaliação das unidades de tratamento do lodo em uma ETE de lodos ativados convencional submetida a distintas estratégias operacionais. A.V.A. Silva; M.V. Sperling; J.M. Oliveira Filho. Engenharia Sanitária e Ambiental 12(2): 122 – 133. (2007)

http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n2/a03v12n2

A análise microscópica do lodo como ferramenta utilizada durante o *start up* de lodos ativados. A.L.F. Piedade. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 28 slides. (2007)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2007_Microbiologia.pdf

Uso de talco no controle do intumescimento filamentoso no tratamento de efluente de fábrica de papel reciclado. H.A.V. Rossoni. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 118 pp. (2007)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=810

e

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2701/dissertacao_Hygor%20Aristides%20Victor%20Rossoni.pdf?sequence=1

A fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto e o consumo de água. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter Nº 09. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_maio07.html#quatorze

Fechando os circuitos para se reduzir ainda mais o consumo de água na fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter Nº 10. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_julho07.html#quatorze

Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para monitoramento de reatores anaeróbios. M.M.F. Ribas; E.M. Moraes; E. Foresti. Engenharia Sanitária e Ambiental 12(3): 240 – 246. (2007)

http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n3/a13v12n3.pdf

Dossier técnico. ETA (Estação de tratamento de água) e ETE (Estação de tratamento de efluente). L. Guerrero. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas. IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. 39 pp. (2007)

http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjUy

Processos oxidativos avançados para tratamento de efluente de indústria de celulose kraft branqueada. T.C.F. Silva. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 104 pp. (2007)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/37/TDE-2007-04-17T140011Z-440/Publico/texto%20completo.pdf

Desempenho de um reator aeróbio de leito fluidizado no tratamento de esgoto sanitário. D. Gebara. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 402 pp. (2006)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-22072007-161214/publico/DoutoradoGebara2006.pdf

Impact of volatile organic acids on activated sludge microbiology. M. Paice. Vitória 2006. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 21 slides. (2006)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2006_AOV_Michael_Paice.pdf (em Inglês)

Kraft pulp mill effluent treated by activated sludge and aerated lagoon genotoxicity assess. C.R. Xavier; E. Oñate; M.A. Mondaca; G. Vidal. Vitória 2006. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2006)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2006_Genotoxicidade.pdf (em Inglês)

Tools for environmental control used by paper and pulp mills. A.L.F. Piedade; T.H. Furley. Vitória 2006. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2006)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/36_2006_Tools%20for%20control.pdf (em Inglês)

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2006_Tools.pdf (em Inglês)

Imobilização de lacase e seu uso na biotransformação de efluentes de indústrias papeleiras. S.M. Villela. Dissertação de Mestrado. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. 131 pp. (2006)

https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88464/225836.pdf?sequence=1

Uso de ozônio como pré e pós-tratamento de efluentes da indústria de celulose kraft branqueada. A.A. Morais. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 110 pp. (2006)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=496

Tratabilidade dos efluentes de branqueamento de polpa kraft de eucalipto com tecnologias de hidrólise ácida/dióxido de cloro a quente. C.M. Gomes. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 170 pp. (2006)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2007-04-19T141102Z-491/Publico/texto%20completo.pdf

Correlação entre a microfauna e parâmetros físico-químicos de um sistema de lodos ativados de uma indústria de refrigerantes. A.R. Hermoso; S. Ferreira; E.S. Silva; J.L. Morais. Revista Brasileira de Ciências Ambientais 4: 16 – 22. (2006)

http://www.rbciamb.com.br/images/online/04_artigo_2_artigos88.pdf

Practical control methods for activated sludge bulking and foaming. M. Richard. New York State Department of Environmental Conservation. 10 pp. (2005)

http://www.acquaeng.com.br/wp-content/uploads/2010/01/ControleLodos-Ativados.pdf (em Inglês)

e

http://www.dec.ny.gov/chemical/34373.html (em Inglês)

Control of sludge bulking in an SBR-plant treating slaughterhouse wastewater. L. Johnson. Sveriges Lantbruks Universitet. 68 pp. (2005)

http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:159206/FULLTEXT01.pdf (em Inglês)

Manual MT – 30. Operação de estação de tratamento de esgoto. SANEAGO – Saneamento de Goiás S.A. 122 pp. (2005)

http://www.saneago.com.br/site/concursos/2007/pdf/Manual_Operacao_de_Estacao_de_Tratamento_de_Esgoto.pdf

Estratégias para a redução da produção de lodo em processo de lodo ativado. (Estudo de caso). A.N. Ponesi. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 15 pp. (2005)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-002.pdf

Método respirométrico para o monitoramento de processos biológicos. G. Andreottola; E.L. Oliveira; P. Foladori; L. Dallago; R. Peterlini; M. Cadona. Engenharia Sanitária e Ambiental 10(1): 14 – 23. (2005)

http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a02.pdf

Eficiência, sedimentabilidade e composição da microfauna de sistemas de lodos ativados de fluxo contínuo e em batelada,

removendo nitrogênio. D.R. Medeiros. Dissertação de Mestrado. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 153 pp. (2005)

http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000461534&loc=2005&l=ad36ec3a66c4a54c

Remoção de matéria orgânica recalcitrante de efluentes de celulose kraft de branqueamento por ozonólise. J.J. Mokfienski; A.H. Mounteer; F.R. Amorim. 37º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (2004)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/42_2004_Remocao%20materia%20organica%20recalcitrante%20de%20efluentes.pdf

Condições operacionais no tratamento biológico de lodo ativado de duplo estágio para efluente industrial. D.C. Meissner; D.H. Vergilio. 7º Seminário de Meio Ambiente. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 26 slides. (2004)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2004_Condicoes_operacionais.pdf

Combinação de tratamentos químico e biológico para a remoção de DQO recalcitrante em efluentes de celulose kraft branqueada. A. Mounteer; R.O. Pereira; D.B. Ruas; L. Turetta. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. UFV – Universidade Federal de Viçosa. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2004)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2004_DQO_recalcitrante.pdf

Caracterização do funcionamento de ETE de tipo lodo ativado via imagem microscópica - estudo na região da grande Florianópolis. H. Hoffmann. XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 08 pp. (2004)

http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ponencias/CARACTERIZA%C3%87%C3%83O%20DO%20FUNCIONAMENTO%20DE%20ETE%20DE%20TIPO%20LODO%20ATIVADO%20VIA%20IMAGEM%20MICROSC%C3%93PICA.pdf

Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando a comparação entre seus métodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes. R.M.S. Navarro. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 111 pp. (2004)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000317483

Activated sludge microbiology problems and their control. M. Richard. 20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference. 21 pp. (2003)

http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/drrichard1.pdf (em Inglês)

e

http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana55/richard.pdf (em Inglês)

Tratamento de efluentes por processo de lodos ativados. S.C. Melchior; M.L. Camargo; C.M.R. Coneglian; N.N. Brito; T.A. Lopes; R.M. Barros; G. Dragoni Sobrinho; S. Tonso; R. Pelegrini. III Fórum de Estudos Contábeis. 12 pp. (2003)

Disponível arquivo com Celso Foelkel

Tratamento de efluentes líquidos da indústria de celulose e papel. J.A.V.M. Fonseca; M. Barbosa; N.O. Pinto; R.S. Salan; G. Dragoni Sobrinho; N.N. Brito; C.M.R. Coneglian; S. Tonso; R. Pelegrini. III Fórum de Estudos Contábeis. 09 pp. (2003)

http://www.universoambiental.com.br/Arquivos/Agua/papel%20celulose.pdf

Efeito do residual de H02 e ClO2 sobre um sistema de lodos ativados de indústrias de celulose kraft branqueada. L.C. Dalvi; C.M. Silva. O Papel (Maio): 77 – 82. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2003_Residuais_toxicos.pdf

Tratamento de efluentes na indústria de papel e celulose. G.M. Minatel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 43 slides. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2003_Tratamento_Efluentes.pdf

Uma forma ambientalmente correta de se gerenciar paradas gerais para manutenção na indústria de celulose. T.H. Furley; A.C. Oliveira Filho; E.S. Montenegro. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/43_2003_Gerencimento%20de%20Paradas.pdf

Uma forma ambientalmente correta de se gerenciar paradas gerais para manutenção na indústria de celulose. T.H. Furley; A.C. Oliveira Filho; E.S. Montenegro. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/44_2003_Gerenciar%20paradas%20gerais.pdf

Melhorando o tratamento do efluente na planta produtiva. J.E. Diniz. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 24 slides. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/19_2003_ABTCP_MelhorandoProcessos.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2003_Melhorando_Tratamento_Efluente.pdf

Filamentous bulking sludge—a critical review. A.M.P. Martins; K. Pagilla; J.J. Heijnen; M.C.M. Loosdrecht. Elsevier Publications. 23 pp. (2003)

http://wenku.baidu.com/view/47e64933eefdc8d376ee32cc.html (em Inglês)

Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas e de redes neurais na modelagem de um sistema de tratamento de efluentes industriais. K.P.S.O.R. Esquerre. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 150 pp. (2003)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000296186

Controle do intumescimento filamentoso em um sistema de lodos ativados utilizando seletores biológicos. C.A. Sousa. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 101 pp. (2002)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=924

e

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2430/dissertacao_Cl%c3%a1udio%20Arcanjo%20de%20Sousa.pdf?sequence=1

Microbiologia de lodos ativados da empresa FRAS-LE. C.B. Maciel. Monografia de Conclusão de Curso. UCS – Universidade de Caxias do Sul. 122 pp. (2002)

http://www.tecnoambi.com.br/joomla/docs/microbiologia-de-lodos-ativados.pdf

Efeito do residual de peróxido de hidrogênio e do íon clorito em um sistema de lodos ativados de indústrias de celulose "kraft" branqueada. L.C. Dalvi. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 72 pp. (2002)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2327/dissertacao_Leandro%20Coelho%20Dalvi.pdf?sequence=1

e

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=920

Performance da ETE VCP - Luiz Antônio após modernização. L. Nalim. 5º Seminário de Meio Ambiente em Indústrias de Processo. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 24 slides. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2002_ETE_VCP_Luiz_Antonio.pdf

Avaliação do impacto das drenagens sobre a microbiologia da ETE e qualidade do efluente tratado da Aracruz Celulose S.A. T.H. Furley; A.C. Oliveira Filho; E.S. Montenegro. O Papel (Fevereiro): 70 – 77. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2002_Drenagens_Microbiologia_lodo.pdf

The study of *Protozoa* population in wastewater treatment plants by image analysis. M. Motta; M.N. Pons; H. Vivier; A.L. Amaral; E.C. Ferreira; N. Roche; M. Mota. Brazilian Journal of Chemical Engineering 18(1). (2001)

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322001000100009&lng=en&nrm=iso (em Inglês)

Remoção de compostos fenólicos clorados (CoFCs) em efluentes de indústrias de celulose. M.A. Antunes; E.C. Pires. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 08 pp. (2001)

http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-127.pdf

Efeito da adição de microrganismos. Bioaumento em uma estação de tratamento de efluentes por lodo ativado em uma indústria de papel e celulose. E. Lazzaretti; A.F. Campos; J.C.B. Nogueira. O Papel (Agosto): 85 – 88. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2001_Bioaumento.pdf

Impacto da adaptação do lodo biológico na eficiência do tratamento de efluentes de branqueamento ECF e TCF. A. Mounteer; D.O. Silva. 34º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2001_Adaptacao_lodo.pdf

Microbiologia de tratamento. T.H. Furley. 4º Seminário de Meio Ambiente em Indústrias de Processo. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 17 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2001_Microbiologia_Tratamento.pdf

Uma revisão sobre aspectos ambientais relacionados aos efluentes líquidos das indústrias de celulose e papel. M.A. Nolasco; E. C. Pires; A.M. Springer. O Papel (Setembro): 70-76. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/54_2000_Revisao%20aspectos%20ambientais.pdf

Efeito da adição de microrganismos (bioaumento) em uma estação de tratamento de efluentes por lodo ativado em uma indústria de papel e celulose. E. Lazzaretti; A.F. Campos; J.C.B. Nogueira**.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 06 pp. (2000)

http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-050.pdf

Aplicação das técnicas de redes neurais e de análise de componentes principais na modelagem de uma lagoa aerada da RIPASA S/A. K.P.S. Oliveira. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 111 pp. (1999)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000197783

Caracterização e tratamento de efluente de branqueamento TCF de indústria de papel e celulose. T.C.B. Paiva. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 111 pp. (1999)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000172277

Tratamento biológico e físico-químico para re-uso dos efluentes do estágio de branqueamento. E.C. Pires; L. Nalim. 32º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/58_1999_Tratamento%20Reuso%20Efluente%20D.pdf

Estudos mecanísticos da degradação de efluentes de indústrias de papel e celulose por fungos basidiomicetos degradadores de madeira. C.H.L. Soares. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 132 pp. (1998)

http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtls000189128.pdf

Avaliação do desempenho de uma ETE tipo aeração prolongada com base em três anos de monitoramento intensivo. M. Sperling; C.M.V. Fróes. 26º Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS 98. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. 07 pp. (1998)

http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar241.pdf

A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment processes. K. Buchauer. Water AS 24(1): 49 – 56. (1998)

http://araconsult.at/download/literature/1998_comparison_titration_procedures_buchauer.pdf (em Inglês)

Recent changes in the prevalence and causes of bulking filamentous bacteria in pulp and papermill activated sludge systems. M.G. Richard. 1997 TAPPI Environmental Conference and Exhibit. p: 553 – 556. (1997)

http://www.tappi.org/Bookstore/Technical-Papers/Conference-Papers/1997/ENV97/Recent-Changes-in-the-Prevalence-and-Causes-of-Bulking-Filamentous-Bacteria-in-Pulp-and-Papermill-Ac.aspx (em Inglês)

Tratamento aeróbio de efluentes da indústria de celulose e papel visando uma menor produção de lodo biológico. M.A. Nolasco; E.C. Pires; A.M. Springer. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 10 pp. (1997)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/biologico.pdf

Controle microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados - Estudo em escala piloto. E.P. Jordão; D. Villas Boas; J.R Conceição; T.C. Silva; P. Além Sobrinho. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 12 pp. (1997)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/microbio.pdf

Determinação do índice volumétrico de lodo numa concentração padrão. E.P. Jordão; V.M.M. Santos; J.R. Conceição; P. Além Sobrinho. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 10 pp. (1997)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/indice.pdf

Evolução na aplicação da biotecnologia em processo industrial e em controle e monitoramento de efluentes. R.F. Vazoller. Seminário "Aplicação da Biotecnologia no Controle Ambiental pela Indústria de Celulose". ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (1996)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1996_Biotecnologia_Processos_ambientais.pdf

Inovações no uso de tratamentos biológicos aplicados às águas residuárias na indústria de papel e celulose. E.C. Pires; L.G. Guaglianoni; M.A. Nolasco. Seminário "Aplicação da Biotecnologia no Controle Ambiental pela Indústria de Celulose". ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (1996)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1996_Inovacoes.pdf

Tratamento biológico de efluentes: parâmetros ótimos na utilização de um biorreator de leito recheado modificado. E. Esposito. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 104 pp. (1995)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000088319

Minimum environmental impact via Riocell's advanced tertiary level wastewater treatment. C. Foelkel. PAPFOR 94 – Rússia. 15 pp. (1994)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Minimum%20environmental%20impact%20mill%201994.pdf (em Inglês)

BOOK REVIEW: Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming and other solids separation problems. D. Jenkins; M.G. Richard; G.T. Daigger, Lewis Publishers. 21 pp. (1993)

http://www.crcnetbase.com/doi/pdfplusdirect/10.1201/9780203503157.fmatt (em Inglês)

Partida e controle do sistema de tratamento biológico (Lagoa Aerada) da Bahia Sul Celulose. C.M. Silva; L.J.C. Quáglia; U.C. Cinque. 26º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (1993)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1993_Lagoa_aerada_Bahia_Sul.pdf

Tratabilidade biológica de efluente da indústria de celulose e papel. O. Vieira. 23º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1990)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1990_Tratabilidade_biologica_efluentes.pdf

The causes and control of activated sludge bulking and foaming. Dynamac Corp. U.S.E.P.A. - Environmental Protection Agency. 100 pp. (1987)

http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30004EKH.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1986+Thru+1990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C86thru90%5CTxt%5C00000001%5C30004EKH.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL (em Inglês)

Manual técnico da microbiologia para sistemas de lodos ativados operando com esgotos domésticos. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 44 pp. (1985)

http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/L1025.pdf

Tratamento secundário de efluentes hídricos através do sistema de lodo ativado em reator fechado. J. Herrera; E. Ratnieks; N. Lima; V.R. Menegotto. 17º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 19 pp. (1984)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/78_1984_Tratamento%20secundario%20Riocell.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1984_Lodo_ativado_Riocell.pdf

Experiência de tratamento avançado de efluentes em fábrica de celulose kraft. J. Herrera; E. Ratnieks; V.R. Menegotto. 16º

Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 24 pp. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/79_1983_Tratamento%20avancado%20Riocell.pdf

Volatile organic acids in raw wastewater and in physico-chemical treatment. N. Narkis; N. Henefeld-Fourrier; M. Rebhum. Water Research 14: 1215 – 1223. (1980)

http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/RM/6/2/4.pdf (em Inglês)

Conceptos generals de tratamiento biológico. G. Valencia Montoya. In: "Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para Países en Desarrollo. CEPIS. 73 pp. (1976)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-10.pdf (em Espanhol)

Curso de atualização para operadores de tratamento de efluentes. N.R. Lima. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 38 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/84_Apostila%20Curso%20Operadores%20de%20ETE.pdf

Riocell's effluent treatment system: one of the most complete in the world pulp industry. C. Foelkel. 02 pp. (Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Riocell%27s%20effluent%20treatment%20system.pdf (em Inglês)

Monitoramento ecotoxicológico de efluentes, resíduos e insumos de uma fábrica de celulose kraft branqueada. V.R.B. Gallardo. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 05 pp. (Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/90_Organoclorados%20fabricas%20celulose.pdf

Bioremediaçao em estações de tratamento de efluentes. F.M. Fernandes; N.R. Lima; I. Borella; E.R. Vingnole. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 38 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Bioremediacao_ETE.pdf

Utilização de modelo biotecnológico. Bioremediação em sistema biológico de tratamento de efluentes de indústria de celulose kraft branqueada. F.M. Fernandes; V.R.B. Gallardo; N.R. Líma. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 38 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Biorremediacao_efluentes.pdf

A aplicação da biotecnologia na RIPASA. J. Vitti. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 05 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Biotecnologia_Ripasa.pdf

Identificação de compostos orgânicos presentes nos efluentes de branqueamento de pasta celulósica. M.C.S. Amaral; L.V.S. Santos; L.H. Andrade; L.C. Lange; W.F. Knupp. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Compostos_organicos.pdf

Controle operacional de lodos ativados através da análise microbiológica. A.L.F. Piedade. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 39 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Controle_Operacional_Lodos_Ativados.pdf

Aspectos de controle operacional da planta de tratamento de efluentes da Votorantim Celulose e Papel unidade Luiz Antônio. M.A.B. Aguiar; L. Nalim. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_ETE_VCP.pdf

Estação de tratamento de efluentes da VCP Unidade Jacareí. Z.C. Piotto; F.G. Barbosa; F.R. Pereira. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 06 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/96_Estacao%20tratamento%20efluentes%20VCP%20Jacarei.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_ETE_VCP_Jacarei.pdf

Gestão de resíduos de estações de tratamento. C.V. Andreoli. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 47 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Gestao_Residuos_ETEs.pdf

Tratamento de efluentes da indústria do papel por lodos ativados. J.H. Kuhm. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Lodos_Ativados.pdf

Microbiologia saudável, redução de custos e melhor decantabilidade do lodo da CENIBRA. A.L.F. Piedade; T.H. Furley; L. Dalvi. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 28 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Microbiologia_saudavel.pdf

Controle de intumescimento filamentoso em uma planta de lodos ativados de fábrica de papel reciclado através de seletores biológicos. C.A. Sousa; C.M. Silva; M.A. Moura. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/SD_Seletores_filamentosos.pdf

Tratamento de efluentes. M. Pestana; D. Ganghis. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET/BA. 69 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TE_Tratamento%20de%20Efluentes/Apostila%20Tratamento%20de%20Efluentes.doc

Tratamento de efluentes líquidos industriais. R.P. Piveli. EPUSP – Escola Politécnica. USP – Universidade de São Paulo. Apresentação em PowerPoint: 63 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://200.144.189.97/phd/LeArq.aspx?id_arq=6731

Lodos ativados. Manual de operação. Acqua Engenharia e Consultoria. 27 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.acquaeng.com.br/wp-content/uploads/2010/01/manuallodosativados1.pdf

Microbiologia dos lodos ativados. S.A.S. Rosa; A. Bazzanella. Portal Tratamento de Águas. 16 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Lib/Image/bib__438528798_Microbiologia%20dos%20Lodos%20Ativados.pdf

Tratamento de esgotos sanitários. R.P. Piveli. 71 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/APOSTILA%20-%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTOS.pdf

Tratamento de água e efluentes industriais. M.S. Borges. Curso Técnico de Petróleo. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 74 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/tratamento_de_aguas.pdf

Manual de saneamento. FNS – Fundação Nacional de Saúde. 3ª Edição. 362 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.sebrae.com.br/customizado/gestao-ambiental-biblioteca/bib_manual_saneamento.pdf

Química ambiental. A.C.P. Caires. Colégio Ateneu Santista. 65 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://professorasoelygeraldis.wikispaces.com/file/view/APOSTILA01.pdf

Química ambiental - Laboratório. A.C.P. Caires. Colégio Ateneu Santista. 14 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ateneusantista.com.br/Cursos%20Tecnicos/Meio%20Ambiente/Material%20para%20Download/QuimAmbiental_Lab.pdf

Introdução ao tratamento de esgotos. E. Marçal Júnior. Curso de Tratamento de Esgoto. Empresa de Engenharia Ambiental. 235 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://www.eea.eng.br/novosite/downloads/Apostila%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.pdf

Tratamento de efluentes de indústrias de celulose e papel. Escola Politécnica. USP - Universidade de São Paulo. Apresentação em PowerPoint: 43 slides. (Sem referência de autor e data)

http://200.144.189.97/phd/LeArq.aspx?id_arq=6732

Volatile and organic acids analysis. W.F. Pfeiffer. Ginosko Laboratories. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (S/D = Sem referência de data)

http://www.ohiowater.org/otco/downloads/training/Presentations/2011/Water%20Lab%20Workshop/WATER%20LAB%20PDF/organic%20and%20volatile%20Acids.pdf (em Inglês)

Organic and volatile acids. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Part 5000: Aggregate organic constituents 06 pp. (S/D = Sem referência de data)

http://media.wix.com/ugd/965ea6_3f3ae1532695ff518a18dc3b11d9b4d9.pdf?dn=SM%2B5560%2BOrganic%2Band%2BVolatile%2BAcids.pdf (em Inglês)

Microbiologia de lodos: protozoários, rotíferos e suctoria. Imagens Google. (S/D = Sem referência de data)

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1280&bih=521&q=%22activated+sludge%22+protozoa&oq=%22activated+sludge%22+protozoa&gs_l=img.3...1772.21073.0.21465.33.24.3.6.0.0.298.4188.5j14j5.24.0....0...1ac.1.37.img..15.18.2775.-1d2gV4xA88#imgdii (Protozoários – em Inglês))

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1280&bih=521&q=%22activated+sludge%22+rotifers&oq=%22activated+sludge%22+rotifers&gs_l=img.12...3256.3256.0.4639.1.1.0.0.0.0.198.198.0j1.1.0....0...1ac..39.img..1.0.0.AaOV5e8x1MM (Rotíferos – em Inglês)

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=%22activated+sludge%22+suctoria&tbm=isch&imgdii&cad=h (Suctoria – em Inglês)

Espero que essa coletânea de conhecimentos variados sobre o uso de biotecnologias para fins ambientais possa ter sido de utilidade para vocês.

Um abraço a todos e muito obrigado

==========