Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

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

Banhados Construídos ou "Constructed Wetlands"

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

Outubro 2014

Eucalyptus Online Book & Newsletter

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 36

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

Banhados Construídos ou "Constructed Wetlands"

Organizações facilitadoras:

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Empresas e organizações patrocinadoras:

Fibria

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ArborGen Tecnologia Florestal

Ashland

Celulose Irani

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

Eldorado Brasil Celulose

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores

Klabin

Lwarcel Celulose

Pöyry Silviconsult

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose

Uma realização

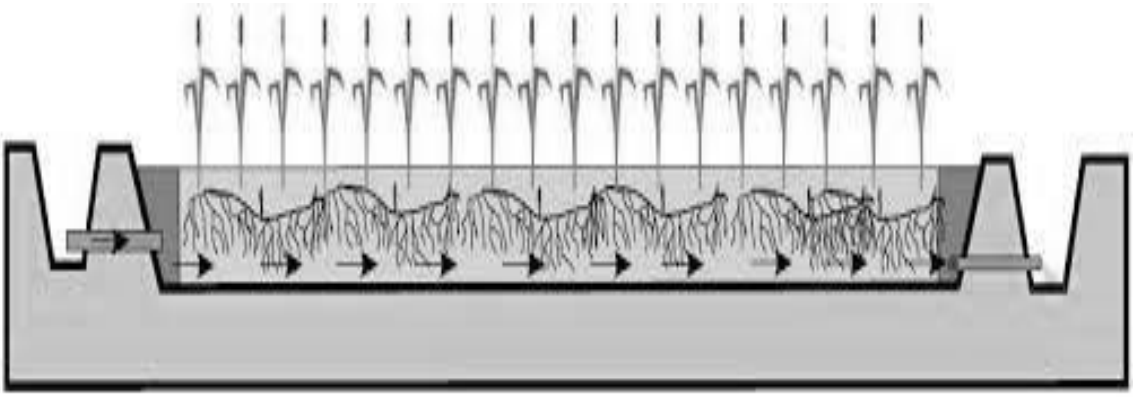
º Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: Celso Foelkel

Os caminhos da biotecnologia são surpreendentes...

==========

Agradecimentos



Com esse capítulo, esperamos estar colaborando para um maior entendimento acerca das realidades e potencialidades que a biotecnologia oferece no tratamento de efluentes industriais através de processos fitotecnológicos potencialmente aproveitáveis pelo setor de celulose e papel, como os sistemas de tratamento de efluentes conhecidos como "Banhados ou Alagados Construídos".

Esse capítulo tem a missão de dar continuidade aos nossos textos sobre aplicações da biotecnologia no setor de celulose e papel, mais uma vez em temas ambientais. Escolhemos como base de avaliações para esse terceiro capítulo de fundo ambiental alguns processos biotecnológicos englobando uma interessante oportunidade que as empresas do setor de base florestal poderiam aproveitar em suas operações, em especial em tratamentos do tipo "rins purificadores" de efluentes setoriais ("kidney treatments") ou eventualmente, para polimento final de seus efluentes tratados. Através do tratamento fitotecnológico conhecido como "Banhados Construídos" podem ser utilizadas plantas capazes de melhorar a qualidade da água, seja em processos finais de polimento de efluentes antes do despejo no curso d'água como também em sistemas de recuperação de águas servidas setoriais para seu reuso nas operações. Esses processos, que se valem de plantas aquáticas macrófitas plantadas em leitos de enraizamento especialmente construídos ou mantidas flutuantes, são também conhecidos, conforme seus conceitos biotecnológicos como: "wetlands", "wetlands construídos", "leitos cultivados", sistemas PAE com plantas aquáticas enraizadas emergentes, banhados construídos, alagados artificiais, sistema de raízes filtrantes, tratamento por zona de raízes, jardins filtrantes, jardins d' água, dentre outras denominações.

Existe muita literatura disponível sobre os sistemas de tratamento de águas residuárias, vulgarmente referidos como ”wetlands”. Essa ampla bibliografia engloba 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 amplos, oferecendo a vocês algo simples, versátil, prático e mais que tudo - didático. Evidentemente, não se trata de um texto para aqueles que são doutores no assunto. Nosso 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 os sistemas de “banhados construídos” para tratar águas industriais contaminadas. Esse tipo de fitotecnologia mostra interessante potencial para sistemas de tratamento de efluentes setoriais de fábricas de celulose e papel ou para tratamentos conjugados aos sistemas tradicionais de alto desempenho, que usualmente são adotados por esse setor industrial. Também podem ser utilizados para biomonitoramento de efeitos ambientais, na função de um mesocosmos.

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 esses processos biotecnológicos e suas causas de sucesso. Meu agradecimento a alguns amigos e diversos outros técnicos e cientistas geradores e difusores do conhecimento, os quais enriquecem nossa literatura setorial com suas contribuições tecnológicas, em especial a:

- Alexandre Juliano Golfetto
- Ana Cristina Curia
- Ashutosh Kumar Choudhary
- Denis Miguel Roston
- Elizabeth Tilley
- Enéas Salati
- Guilherme Schultz
- Jan Vymazal
- Marcelo Mazzola
- Margaret Akinyi Abira

- Michel Gerber
- Sebastião Tomás Carvalho
- Selma Cristina da Silva
- Wagner David Gerber

Caso algum de vocês se interessar por conhecer mais detalhes sobre publicações desses prestigiados autores, sugiro que naveguem na seção de referências da literatura e sugestões para leitura.

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

Pesquisando sistemas com plantas aquáticas emergentes (Processo PAE)
Fonte: Alexandre Juliano Golfetto & Nádia Teresinha Schröder, 2012

Banhado construído pelo sistema de fluxo horizontal subsuperficial
Fonte: Wagner David Gerber, 2014

==========

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

Banhados Construídos ou "Constructed Wetlands"

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

Sistemas com plantas enraizadas e emergentes
Fonte: Wagner David Gerber e colaboradores, 2003

A biotecnologia vai aos poucos conquistando espaço em etapas vitais nos processos ambientais da fabricação de celulose e papel – e no setor florestal, também...

- REVENDO CONCEITOS SOBRE A BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL
- OS BANHADOS CONSTRUÍDOS COMO FITOTECNOLOGIA POTENCIAL AO SETOR DE CELULOSE E PAPEL
- PLANTAS MACRÓFITAS UTILIZADAS NOS BANHADOS CONSTRUÍDOS
- O PAPEL DOS MICRORGANISMOS NOS BANHADOS CONSTRUÍDOS
- TIPOS DE BANHADOS CONSTRUÍDOS

- LAGOAS ECOLÓGICAS COM PLANTAS MACRÓFITAS FLUTUANTES
- LAGOAS ECOLÓGICAS COM PLANTAS MACRÓFITAS SUBMERSAS
- BANHADOS CONSTRUÍDOS DO TIPO FLUXO DE ÁGUA SUPERFICIAL LIVRE OU SUPERFÍCIE AQUÁTICA LIVRE
- BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL DE ÁGUA SUBSUPERFICIAL OU LEITOS DE PLANTAS AQUÁTICAS EMERGENTES EM FLUXO HORIZONTAL
- BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL DE ÁGUA SUBSUPERFICIAL OU LEITOS DE PLANTAS AQUÁTICAS EMERGENTES EM FLUXO VERTICAL
- FATORES DE PROJETO EM BANHADOS CONSTRUÍDOS
- FATORES DE EFICIÊNCIA DOS BANHADOS CONSTRUÍDOS
- BANHADOS CONSTRUÍDOS NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Sistema PAE de Plantas Aquáticas Emergentes
Fonte: Wagner David Gerber, 2014

==========

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

Banhados Construídos ou "Constructed Wetlands"

Leitos Cultivados - (Fonte da figura: Sugimoto, 2003)

Uma arte da Natureza em benefício do ser humano

REVENDO CONCEITOS SOBRE 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, com certeza, o tipo de biotecnologia com maior número de utilizações implementadas, atualmente.

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 (biogás, biohidrogênio, etanol lignocelulósico, etc.);

- Identificação de problemas de toxicidade ambiental (ecotoxicidade);
- Conversão ou passivação de produtos tóxicos ou perigosos;
- Conversão de resíduos poluentes em produtos úteis à sociedade (Exemplos: compostagem de resíduos sólidos, digestão anaeróbica de material orgânico para produção de biogás e de adubo orgânico, etc.);
- 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 ou resíduo a ser tratado, a sua concentração e a sua biodegradabilidade;
- Identificação de agentes biológicos que serão incumbidos de biodegradar os poluentes 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;
- Avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos desse tratamento;
- Mensurar os custos operacionais e de investimentos associados a essa aplicação biotecnológica;
- Comparar com outros tipos de tratamento ou tecnologias capazes de realizar o mesmo tipo de conversão;
- Identificar as 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 banhados construídos, 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 dela se converter em 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 eles 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.

Leitos cultivados ou banhados artificiais construídos

Uma forma natural de tecnologias ambientais

==========

OS BANHADOS CONSTRUÍDOS COMO FITOTECNOLOGIA POTENCIAL AO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Banhado Construído

Um dos ramos da biotecnologia ambiental que se tem mostrado dos mais promissores e com inúmeras oportunidades de garantir melhores níveis de sustentabilidade à sociedade tem sido aquele que se baseia no uso de plantas superiores como fundamentação biotecnológica. As fitotecnologias têm crescido em importância em diversos setores tecnológicos, em especial naqueles com finalidades ambientais, tais como: tratamento e purificação de águas e efluentes, filtração de poluentes aéreos, recuperação de áreas degradadas, etc.

Diversas tecnologias ambientais que baseiam seus conceitos na utilização de plantas macrófitas aquáticas têm sido reunidas sob a denominação genérica de fitorremediação ambiental. Macrófitas ou hidrófitas são plantas terrestres que passaram a ter adaptação a condições de extremos níveis de umidade, podendo viver dessa forma em locais alagados ou mesmo dentro de água (lagos, rios, etc.). As macrófitas utilizadas nessas biotecnologias costumam serem plantas superiores vasculares que possuem raízes, caules, folhas, flores e frutos. Sua morfologia e fisiologia, em especial a de suas raízes e folhas clorofiladas fotossintetizadoras, podem acelerar diversos tipos de reabilitação da qualidade ambiental de ecossistemas degradados

ou mesmo, para prevenção de danos futuros. Um adequado arranjo de plantas para essa ação de depuração pode representar ganhos qualitativos e quantitativos ambientais e estéticos na paisagem. Por se tratarem de sistemas naturais de razoável eficiência e com excepcionais aspectos visuais, as fitotecnologias de remediação ambiental estão ganhando cada vez mais espaço como forma de prevenção e controle ambiental para ecossistemas impactados pelo ser humano.

As fitotecnologias podem ser utilizadas tanto em processos preventivos como também como mecanismos de tratar poluentes, desde que se conheçam perfeitamente bem suas vantagens e desvantagens, seus fatores alavancadores de melhores desempenhos e a própria engenharia conceitual dos processos que se pretenda adotar. Portanto, as fitotecnologias demandam conhecimentos e muito embasamento científico, não devendo ser entendidas como algo que possa ser praticado ou utilizado por qualquer leigo que aprecia plantas e natureza.

Algumas dessas tecnologias utilizam plantas para tratar efluentes simples, como o caso de águas servidas de condomínios, hotéis, *shopping-centers*, aeroportos, *resorts*, áreas de recreação, etc. Nesses casos, costumam ter denominações como jardins d'água, jardins filtrantes, lagoas ecológicas, jardins purificadores, pois estão associadas ao *marketing* verde desses empreendimentos. Esses arranjos são banhados construídos simples, com grande virtude estética e com funções de minimização do impacto dos poluentes desses empreendimentos no solo ou em corpos d'água. O mais usual é que as águas tratadas sejam utilizadas como águas de irrigação dos jardins convencionais dos próprios empreendimentos. Mesmo sendo construções simples, elas demandam engenharia e pessoal qualificado para projetar e implementar as mesmas. Logo, não se trata de sair fazendo por achar que vá dar certo. Vocês verão ao longo desse capítulo que existem muitos cuidados a serem tomados e restrições a serem conhecidas e otimizadas, bem como ganhos potenciais a serem buscados.

Há, por exemplo, que se conhecer muito bem a adaptação e a tolerância das espécies de plantas às condições onde deverão ser utilizadas. Também se precisa conhecer a capacidade fotossintética e a eficiência de evapotranspiração do sistema, bem como a densidade populacional a ser instalada (número de plantas por unidade de área). Outros pontos vitais seriam os arranjos e combinações de células de tratamento e o seu conceito construtivo.

Desde que bem desenhados, construídos e monitorados, esses processos biotecnológicos conseguem ter ótimas eficiências e ao

mesmo tempo trazem um embelezamento estético e ambiental nos locais onde implantados.

As fitotecnologias conseguem mostrar alto nível de atratividade em inúmeros tipos de situações em função de algumas de suas vantagens:

- Custos baixos de projetos de engenharia e de implantação;
- Custos operacionais muito baixos, pois praticamente não utilizam fontes externas de energia e são de baixíssimo consumo de insumos;
- Baixo risco operacional e de acidentes;
- Bom e adequado desempenho, conforme sua adaptação àquilo que se pretenda tratar;
- Boa aceitação pelas entidades controladoras e fiscalizadoras do meio ambiente;
- Excelente aceitação pelas comunidades públicas;
- Possibilidades múltiplas de combinações de plantas herbáceas, arbustivas, árvores e organismos inferiores (microrganismos);
- Incremento da biodiversidade local, pelo fato dos arranjos de plantas atraírem insetos, anfíbios, pássaros, etc.;
- Possibilidades de ocupação de terras e de áreas marginais ou mesmo áreas marginalizadas e degradadas pela mineração, escavações para remoção de terras ou pedras, etc.;
- Possibilidade de utilização da biomassa resultante da colheita das plantas para fins energéticos, de compostagem e utilização do composto em ajardinamentos da própria empresa;
- Resultados econômicos interessantes em termos de custo por unidade de poluente removido, em comparação a outros tipos de tratamentos.

As plantas macrófitas, quando bem selecionadas e manejadas, conseguem:

- Transpirar e evapotranspirar;

- Fotossintetizar e gerar oxigênio e consumir gás carbônico;

- Modificar a matéria orgânica contida no efluente a elas oferecido;

- Absorver nutrientes que possam representar poluição aos cursos d'água (nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, zinco, níquel, molibdênio, etc.);

- Reduzir a patogenicidade das águas por predação e aniquilamento de coliformes, salmonelas, helmintos, vibriões, etc.

A principal utilização fitotecnológica de plantas macrófitas vasculares superiores tem sido nos "banhados ou alagados construídos". Esses sistemas de tratamento de águas residuárias e efluentes podem ser utilizados conjugados a outros tipos de tratamentos, possibilitando assim se terem sistemas únicos ou sistemas híbridos, atuando integralmente ou complementarmente a outras formas de se tratar poluentes.

Os banhados construídos têm sido estudados e adotados em inúmeras regiões do mundo, porém são mais indicados para regiões tropicais e subtropicais, já que as plantas diminuem atividade metabólica em regiões muito frias.

Frente à grande difusão e aos diferentes tipos e conceitos desses banhados construídos, eles têm ganhado denominações diferentes, inclusive ao nível de uma mesma região geográfica. Isso porque existe uma diversidade grande de técnicos e cientistas trabalhando no tema e também ao fato de que originalmente o assunto começou a ser estudado em regiões diversas do mundo e cada qual procurou adaptar o nome do sistema às denominações locais de suas conveniências. Dessa forma, os banhados construídos são também denominados: alagados construídos, sistemas por zona de raízes, zonas alagadas, lagoas ecológicas, sistemas de plantas enraizadas, sistema de plantas aquáticas emergentes, jardins filtrantes, jardins d'água, "wetlands construídos", etc. Por isso e para facilitar a redação desse nosso capítulo, serão adotadas as denominações mais usuais que são:

- Em português: Banhados Construídos

- Em espanhol: *Humedales Construídos*

- Em inglês: *Constructed Wetlands*

Há séculos se conhece o fato de que os banhados naturais (áreas pantanosas, brejos, várzeas alagadas) e áreas frequentemente saturadas com água possuem a capacidade de depuração de águas contaminadas com materiais orgânicos e elementos minerais (que são nutrientes para plantas). Apesar da eficiência obtida, fruto da longa permanência dos poluentes em condições naturais de depuração, o uso de banhados e áreas alagadas naturais para tratar efluentes não é legalmente correto, sendo inaceitável do ponto ambiental e social que eles sejam utilizados para essa finalidade. Por isso, a sociedade deve combater e se opor ao uso de banhados naturais como forma de tratar poluentes, seja os de natureza sanitária ou industrial.

Áreas alagadas se constituem em ecossistemas únicos e frágeis, possuem enorme biodiversidade e são fontes perenes de suprimento de água para abastecer riachos e fontes de água em suas proximidades. Lançar efluentes em banhados naturais causa impactos à biodiversidade e à hidrologia local, desestabilizando a cadeia biológica e os ciclos naturais – com isso, além de se prejudicar o ambiente, prejudica-se a própria comunidade humana, que terá cada vez menos água com qualidade para atender às suas necessidades. Por isso mesmo, reforço o seguinte: deve ficar muito claro que os banhados e pântanos naturais devem cumprir seu papel relevante e nunca serem utilizados como forma de tratar efluentes. Mesmo as empresas e comunidades que porventura lancem efluentes industriais e sanitários previamente tratados nesse tipo de ecossistemas, elas precisam monitorar eficientemente a qualidade dos efluentes e os impactos, que possam eventualmente serem causadores de danos ao banhado natural receptor.

O conhecimento dessa virtude de purificar águas dos banhados naturais acabou estimulando que os técnicos e cientistas desenvolvessem tecnologias de tratamento de água com embasamentos assemelhados, porém com muito maior eficiência de purificação. Diversas das fragilidades e ineficiências dos banhados naturais puderam ser entendidas e evitadas nos banhados artificiais, construídos especialmente para depurar águas residuárias.

Dentre os conceitos e embasamentos otimizados, podemos citar:

- ✓ Evaporação e evapotranspiração;
- ✓ Capacidade fotossintética;
- ✓ Utilização de plantas especializadas de alta eficiência em fotossíntese (formação de massa vegetal), em uso de água e em produção de raízes absorventes;

- ✓ Entendimento do papel e capacidade purificadora dos microrganismos associados às zonas de raízes das plantas e aos biofilmes microbiológicos formados no meio suporte;

- ✓ Desenho e construção do leito de cultivo (suporte ou substrato) com alta porosidade, capacidade de fluxo hidráulico, permeabilidade e capacidade de suporte da vegetação enraizada no mesmo;

- ✓ Regularização dos fluxos líquidos ao longo das células dos banhados construídos, evitando os canais preferenciais tão usuais em banhados naturais;

- ✓ Monitoramento e especialização dos microrganismos aeróbicos, anaeróbicos, anóxicos e facultativos para atuação no sistema, em função das exigências de cada situação e onde se tenha necessidade de cada tipo desses microrganismos;

- ✓ Utilização de sistemas auxiliares para aumento da eficiência operacional e rendimentos, como por exemplo: aeração do líquido, injeção de oxigênio, adição de nutrientes em falta, misturas e recirculações, etc.;

- ✓ Etc.

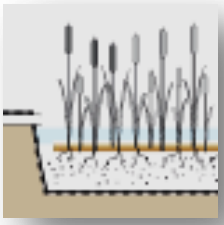
Os banhados construídos não devem jamais serem edificados em áreas alagadas e pantanosas. Eles são sistemas independentes, que se baseiam nos princípios de banhados naturais, mas não devem, em hipótese alguma, serem construídos para substituir os banhados naturais.

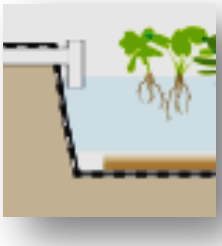
Dentre as diferentes e variadas definições de banhados construídos, prefiro lhes apresentar uma ligeira adaptação que fiz da definição dada pelo autor Cris Akers, em uma de suas palestras de 2012, referenciada e disponibilizada em nossas referências de literatura:

"Banhados construídos são sistemas artificiais semelhantes aos banhados naturais e que são criados e engenheirados pelo homem de forma a: possuírem leitos suportes saturados em água onde se podem enraizar plantas emergentes ou se adotarem plantas flutuantes em lagoa ecológica. Esses sistemas possuem ampla variedade de comunidades microbiológicas associadas, todas com a função de degradação biológica de poluentes ou de monitoramento de impactos ambientais".

Em geral, os banhados construídos são projetados para ocupação de áreas secas e altas, com lençóis freáticos profundos, Essas áreas devem possuir ligeira declividade que possibilite desenhos de células de forma que o fluxo de líquidos ocorra preferencialmente por gravidade e mínimo consumo de eletricidade. Devem ser evitadas áreas planas e alagadas, pois as condições primárias e fundamentais desses banhados construídos é que eles não competirão por terras alagadas naturais e serão operados de forma hermética em relação ao solo.

Os banhados construídos devem ser desenhados para que os fluxos de águas sejam uniformes, bem distribuídos e com o máximo contato dos líquidos com os leitos cultivados de plantas e com as suas raízes e microrganismos associados. Portanto, o sucesso de um banhado construído está na distribuição do efluente, no fluxo regular e no íntimo contato dos poluentes com as raízes e com os microrganismos associados à rizosfera e aos biofilmes formados sobre os materiais construtivos dos leitos (britas, areias, pedras, etc.).





Fonte figuras: Tilley e colaboradores, 2014

Em função de suas características conceituais para máximo desempenho e rendimentos, os banhados construídos podem-se mostrar bastantes interessantes para inúmeras finalidades, sendo sistemas bastante apreciados por diversos setores das áreas de saneamento municipal, tratamentos de efluentes industriais e agrícolas.

São especialmente indicados para tratamento de:

- Efluentes domésticos e cloacais;
- Diversos tipos de efluentes industriais;
- Águas de mineração;

- Águas residuais de atividades agrícolas (viveiros de mudas, áreas de hortas, granjas e criadouros de pequenos animais, etc.);

- Enxurradas contaminadas e águas de escoamento superficial;

- Percolados de aterros sanitários e industriais, pátios de compostagem, áreas de resíduos e lixos;

- Águas servidas de condomínios, aeroportos, hotéis, *resorts*, áreas de recreação, *shopping-centers*, etc.;

- Águas contaminadas e concentradas pela osmose reversa ou nanofiltração;

- Águas ricas em nutrientes e capazes de provocar eutrofização em corpos d'água;

- Etc.

Os banhados construídos podem também serem utilizados como bioindicadores de condições ambientais que possam trazer impactos ambientais severos. Eles têm plenas condições de tomarem o papel como mesocosmos de monitoramento ambiental. Os mesocosmos são áreas experimentais artificiais maiores do que as unidades de bancada laboratorial, que podem ser utilizadas para acompanhamento de algum tipo de contaminação ambiental. Com um mesocosmos, pode-se não apenas se monitorar, mas também testar condições para otimização do desempenho do tratamento.

Banhados construídos podem perfeitamente serem adaptados para testar o impacto ambiental e a degradabilidade natural de efluentes de atividades industriais, agrícolas e de saneamento básico. Podem para isso receberem efluentes setoriais ou de fases do tratamento de efluentes de uma unidade produtiva, em arranjos especiais de suas diversas células de acompanhamento. Podem também receber a missão de monitoramento de comunidades biológicas ou mesmo da biodegradabilidade de alguns poluentes recalcitrantes (organoclorados, por exemplo). O biomonitoramento em um mesocosmos pode também estudar os níveis mais indicados de diluição de um efluente com a água do corpo receptor. Em regiões de regimes hídricos muito variados, esse tipo de acompanhamento é muito interessante.

Um caso que tem despertado a atenção do setor global de produção de celulose e papel tem sido o banhado construído em vias

de implantação pela empresa CELCO - Celulosa Arauco y Constitución em sua planta industrial de produção de celulose de mercado em Valdívia - Chile. Esse banhado construído, que recebeu a denominação de "Humedal Centinela", terá a missão de monitorar e permitir indicações de impactos ambientais e de ações corretivas e preventivas, pois estará avaliando níveis de diluição do efluente tratado a nível terciário dessa unidade industrial com a água que abastece um importante banhado natural da região (Humedal del Rio Cruces ou Santuário de la Naturaleza Carlos Anwandter). Trata-se de uma iniciativa singular e importantíssima no setor de celulose e papel e que esperamos que possa ter desdobramentos e seguidores por outras empresas desse setor.

O fato dos banhados construídos estarem baseados em princípios assemelhados aos que norteiam o comportamento dos banhados naturais acaba por oferecer interessantes avaliações de efeitos e desempenhos, bem como de interações entre os diferentes tipos de comunidades biológicas presentes. Portanto, trata-se de algo que sempre merecerá reflexões para implementação por parte das empresas geradoras de grandes volumes de efluentes, mesmo que eles sejam muito bem tratados por meios tradicionais de tratamento.

Os banhados construídos atuando como mesocosmos como bioindicadores podem também oferecer novos rumos para a própria utilização desses banhados como formas de polimento final a efluentes já previamente tratados a nível secundário ou terciário por outras vias de tratamento (lodos ativados, clarifloculação, tratamento anaeróbico, etc.).

Muitas vezes, o polimento adicional de um efluente pelo banhado construído pode inclusive permitir o reuso dessa água mais limpa no processo industrial, melhorando dessa forma a ecoeficiência do processo como um todo. Em alguns tipos de situações, principalmente nas aplicações agrícolas dos banhados construídos, a economia de água pelo reuso de efluentes purificados por esses banhados pode atingir entre 40 a 70% do total demandado pela atividade. É muito difícil o fechamento completo do sistema, com redução para zero da captação de água, mesmo porque existe muita perda de água pela própria concepção dos banhados, que dependem de evapotranspiração para serem eficientes na purificação de poluentes (absorção de nutrientes e fotossíntese).

Afinal, as plantas aquáticas perdem água por transpiração e a superfície do banhado (mesmo os que não possuem água livre superficial) evapora água para a atmosfera. Quanto maior a densidade de folhas por área de um banhado, maior será o potencial de transpiração foliar. Já a evaporação natural da água pelo solo ocorrerá pelo efeito de aquecimento da água pela insolação e

também por efeito da umidade relativa do ar atmosférico. Logo, a evapotranspiração é função da temperatura, umidade relativa do ar, insolação, área foliar por unidade de área ocupada pelo banhado e taxa de fotossintetização.

Banhados construídos são formas relativamente recentes de tratar efluentes. Até meados dos anos 1950's ainda se encontravam situações de empresas e municipalidades utilizando banhados naturais para tratar ou polir efluentes industriais ou sanitários. Conforme a legislação foi-se tornando mais restritiva e sendo aplicada e fiscalizada, esse tipo de situação foi sendo interrompida e os banhados construídos passaram a ser considerados como fitotecnologias viáveis e de potencialidades efetivas.

As primeiras utilizações de banhados construídos para tratar efluentes passaram a acontecer nos Estados Unidos da América e em alguns países europeus e asiáticos a partir dos anos 1970's. O crescimento dessas fitotecnologias tem sido exponencial e as aplicações são para uso alternativo ou complementar a outros tipos de tecnologias. Os principais usos estão acontecendo em países como: Estados Unidos, Alemanha, Japão, China, Índia, Malásia, Tailândia, Vietnã, Brasil, etc.

Na maior parte das situações, os banhados construídos se complementam à paisagem e são a única forma de tratamento aplicada a efluentes simples e de fácil biodegradabilidade. A única exigência que o sistema coloca de forma radical é que exista um pré-tratamento para remoção eficaz dos sólidos suspensos para evitar o entupimento dos leitos e a perda de eficiência hidráulica do sistema.

Para o caso de efluentes mais complexos e ricos em materiais orgânicos de difícil decomposição (compostos recalcitrantes), os banhados construídos apresentam mais um papel complementar, destinando-os a tratar algum efluente setorial ou como uma etapa de polimento final. Podem também, como já visto anteriormente, assumirem um papel de mesocosmos de biomonitoramento, mas isso é mais raro.

Outra forte razão para a adoção de banhados construídos em uma empresa é a potencialidade que é oferecida para *marketing* verde. A beleza estética e a harmonia ambiental que se consegue na paisagem garantem pontos valiosos para as empresas que os adotam, oferecendo algumas páginas em seus relatórios de sustentabilidade e a admiração do público que visita ou lê sobre eles. Isso tem grande apelo nos dias de hoje, sendo algo que estimula as empresas a se interessar pelo seu uso.

Após essas considerações iniciais, podem-se com facilidade relacionar diversas vantagens inerentes a esse tipo de fitotecnologias, tais como:

- Baixo custo de construção e de monitoramento;
- Baixo custo operacional;
- Baixa demanda energética;
- Adequados níveis de eficiência e de rendimento (variam conforme o tipo de efluente, o tempo de residência e o desenho do banhado adotado);
- Possibilidades de serem utilizados como etapa de polimento final complementarmente para outros tipos de estações de tratamento de efluentes;
- Ampla aceitação pelas entidades de controle, licenciamento e fiscalização ambiental;
- Beleza estética e harmonia ambiental com a paisagem;
- Aceitação pelas comunidades como sendo tratamentos ambientalmente responsáveis, naturais e sustentáveis;
- Abrigo natural da biodiversidade local, variando conforme as características regionais;
- Possibilidades de reutilização da água tratada como água de irrigação, água de lavagem, água de diluição, etc.
- Efeito importante sobre diversos parâmetros de qualidade de efluentes, tais como: temperatura, pH, condutividade, patogenicidade, cor, turbidez, nutrientes (nitrogênio, em especial), sólidos suspensos, oxigênio residual, etc.;
- Degradação eficiente de diversos tipos de contaminantes orgânicos, com rendimentos de redução da DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio e da DQO – Demanda Química de Oxigênio que podem atingir até mesmo valores entre 80 a 95%, dependendo das características dos compostos orgânicos poluentes e do desenho do banhado construído;
- Geração desprezível de lodo a ser removido para descarte;

- Pouquíssima geração de odor;

- Baixa geração de biomassa vegetal para ser colhida, ainda que ela possa ter destinação agrícola após compostagem;

- Pequena manutenção corretiva e preventiva;

- Flexibilidade para associação com outros tipos de tratamento de efluentes;

- Flexibilidade para criação de sistemas híbridos de banhados construídos, contendo células e setores baseados em conceitos distintos de banhados;

- Ampla diversidade de plantas macrófitas regionais ou exóticas, que podem ser utilizadas como meio biológico vivo e ativo no banhado;

- Possibilidades de aumentação dos efeitos e dos rendimentos pela introdução de sistemas auxiliares de adição de nutrientes, inoculação de microrganismos, aeração dos líquidos, controle de temperatura, etc.;

- Efeitos ambientais, sociais e econômicos muito positivos e bastante aceitos pelas partes interessadas da sociedade.

Entretanto, nem só em vantagens essas fitotecnologias se apoiam. Os banhados construídos também apresentam limitações e desvantagens, as quais precisam ser entendidas e minimizadas por aqueles que decidirem adotar os mesmos como tecnologias efetivas em suas instalações.

Vejam algumas dessas limitações e desvantagens:

- As áreas construídas e ocupadas pelos banhados são bem maiores do que aquelas utilizadas por sistemas compactos de altos rendimentos, como os processos de tratar efluentes por lodos ativados ou por reatores anaeróbicos;

- Os banhados construídos não são muito adequados para tratar efluentes de baixa degradabilidade biológica (baixas relações DBO/DQO);

- Eficiência e rendimentos podem variar em função das condições climáticas e da variabilidade do efluente. Esses sistemas exigem qualidade bastante regular dos efluentes.

- Podem atrair insetos e outros animais peçonhentos ou transmissores de doenças (dengue, por exemplo);

- Tempo relativamente longo para o crescimento das plantas macrófitas até o atingimento de seu melhor nível de desenvolvimento vegetativo e efetividade para tratar águas contaminadas (entre 1 a 2 anos);

- Necessidade de tratamento primário preliminar para remoção de sólidos suspensos do efluente a ser tratado;

- Cuidados especiais com os fluxos hidráulicos são vitais, para impedir que ocorram entupimentos nos leitos, canais preferenciais e perda de efetividade do sistema;

- Necessidade de se trocar leitos e plantas após certo tempo de utilização do banhado, devido processos de saturação e de perda de eficiência vegetativa das plantas macrófitas;

- Possibilidades de que as plantas macrófitas dos banhados construídos possam se tornar invasivas a outros ecossistemas regionais, em especial de banhados naturais, várzeas, áreas alagadas, lagos, etc.;

- Potencialidades de danos aos lençóis freáticos e à hidrologia local, por deficiências nas impermeabilizações;

- Alterações na biodiversidade local pela atração e enriquecimento com tipos diferentes de insetos, anfíbios, etc.;

- Possibilidades de se causar aumento e não diminuição da DBO em função da morte e apodrecimento de plantas em sistemas desbalanceados e mal cuidados;

- Riscos de que efluentes contendo resíduos agrícolas como herbicidas possam causar danos severos às plantas macrófitas cultivadas;

- Risco da presença elevada de metais pesados que possam ser absorvidos e acumulados na biomassa vegetal das macrófitas, sendo que esse material de colheita de plantas precisaria ser

disposto não como matéria-prima para compostagem, mas como resíduo perigoso;

- Outras desvantagens características de um ou outro tipo de banhado, a ser detalhada mais adiante, no momento em que for comentado sobre cada um dos tipos principais de banhados construídos.

==========

PLANTAS MACRÓFITAS UTILIZADAS NOS BANHADOS CONSTRUÍDOS

Colhendo macrófitas de um banhado construído para renovação da vegetação
Fonte: Wagner David Gerber, 2014

Dentre as plantas macrófitas potenciais para utilização em banhados construídos destacam-se aquelas que possuam intensa capacidade de vegetação, excepcional área foliar, rápido crescimento, sistema radicular denso e tolerância ou resistência ao tipo de efluente que deverão encontrar para tratar. As plantas devem ser tolerantes ao excesso de água, à salinidade, às variações bruscas de pH e temperatura e ao excesso de nutrientes ou de matéria orgânica.

Dentre as plantas macrófitas flutuantes, a mais usual é o aguapé (*Eichhornia crassipis*), também referida como jacinto d'água. Ela tem sido utilizada em lagoas ecológicas fáceis de serem implementadas para tratar efluentes simples e de fácil degradabilidade.

Dentre as macrófitas emergentes para enraizamento em leitos cultivados, as espécies mais usuais e adotadas são as seguintes:

- *Brachiaria* – Braquiária
- *Cana glauca* – Caeté
- *Carex* – Ciperácea
- *Cyperus giganteus* – Papiro
- *Eleocharis interstincta* - Tiririca
- *Flocopa glabrata* - Trapoeiraba
- *Guadua* – Bambu
- *Hedychium coronarium* – Lírio do brejo
- *Helianthus* - Girassol
- *Juncus* – Junco
- *Pennisetum* – Capim elefante
- *Phragmites* – Junco ou Caniço
- *Phyllostachys* – Taquara ou Bambu
- *Sagitaria* – Sagitária
- *Sebastiania* - Sarandi
- *Scirpus* – Ciperácea
- *Typha* – Taboa

Para áreas maiores, amplas e de menor grau de alagamento, podem ser também utilizadas álamos, chorões ou salseiros, eucaliptos, bambus ou outras plantas de maiores dimensões. Entretanto, muito dessas áreas não se constituem em banhados construídos típicos, já que não são impermeabilizadas e os efluentes são colocados mais como água de irrigação para serem degradados e eliminados. Em alguns casos, esses tratamentos podem ser sistemas ambientalmente e legalmente incorretos, pois não sendo impermeabilizados e sendo mal controlados podem comprometer a qualidade dos solos e a hidrologia local e regional.

De uma maneira geral, um período crítico para o banhado construído é a plantação e adaptação das plantas macrófitas até que atinjam seu poder vegetativo pleno. Ensaios de tolerância de espécies e desempenhos devem ser realizados para a seleção das melhores plantas e para detecção das condições ideais de desempenho em relação ao efluente a ser tratado.

Toma cerca de um a dois anos para que o banhado atinja seu máximo potencial de eficiência, quando as plantas possam estar em plena capacidade vegetativa, ocupando eficientemente a área a elas destinada. Só após o fechamento integral da área com a vegetação é que o banhado construído adquire os rendimentos e as eficiências ideais do projeto. Essa condição persiste por alguns anos, com colheitas de parte aérea das plantas de tempos em tempos. Após um período de grande eficiência, o banhado vai perdendo rendimentos por entupimento do leito e por envelhecimento e caducidade da vegetação de macrófitas. É sempre muito importante se identificar bem se os problemas de perdas de rendimentos se devem às plantas, ao leito suporte, à qualidade do efluente, aos microrganismos associados, ou a alguma interação entre esses fatores. Só após plena identificação das causas do problema é que se devem tomar ações corretivas, que podem ser drásticas, como toda a renovação completa das células (leito suporte e plantas).

Para melhor visualização pelos leitores de algumas das principais macrófitas utilizadas em banhados construídos, sugerimos navegar em algumas das referências a seguir:

Imagens de algumas plantas macrófitas utilizadas em banhados construídos. Imagens Google. Acesso em 22.10.2014:

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=aguap%C3%A9&oq=aguap%C3%A9&gs_l=img.3...2017.11648.0.12584.7.7.0.0.0.0.239.239.2-1.1.0....0...1ac.1.57.img..6.1.238.tL2_ia0xu_Q (Aguapé)

e

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=carex&oq=carex&gs_l=img.3...1262.2360.0.2788.5.5.0.0.0.0.0.0..0.0....0...1ac.1.57.img..5.0.0.9j-BadKbpq0 (*Carex*)

e

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=cypereus&oq=cypereus&gs_l=img.3...1210.3448.0.3818.8.5.0.3.1.0.289.945.2-4.4.0....0...1ac.1.58.img..4.4.750.E1EguzEwUXM (*Cyperus*)

e

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=juncus&oq=juncus&gs_l=img.3..0i19l10.1238.2591.0.3101.6.6.0.0.0.0.339.339.3-1.1.0....0...1ac.1.57.img..5.1.338.35-6zzHOXzM (*Juncus*)

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=%22l%C3%ADrio+do+brejo%22&oq=%22l%C3%ADrio+do+brejo%22&gs_l=img.3...1560.7012.0.7436.16.9.0.7.0.0.226.1484.0j2j5.7.0....0...1ac.1.57.img..11.5.1089.WrALnFpF7cQ (Lírio do brejo)

e

https://www.google.com.br/search?q=pennisetum&biw=1188&bih=501&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=gjRRVIyEFcypNuTtgmg&ved=0CB8QsAQ (*Pennisetum*)

e

https://www.google.com.br/search?q=phragmites+australis&biw=1188&bih=501&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=Pj1JVJyiEISONsnYguAC&sqi=2&ved=0CBwQsAQ (*Phragmites australis*)

e

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&oq=Phyllostachys+&gs_l=img.12..0i19l10.2411.5068.0.7236.3.3.0.0.0.0.872.1938.2-1j6-2.3.0....0...1ac.1.57.img..2.1.853.GiYglJVkGsY&q=Phyllostachys (Taquara ou bambu)

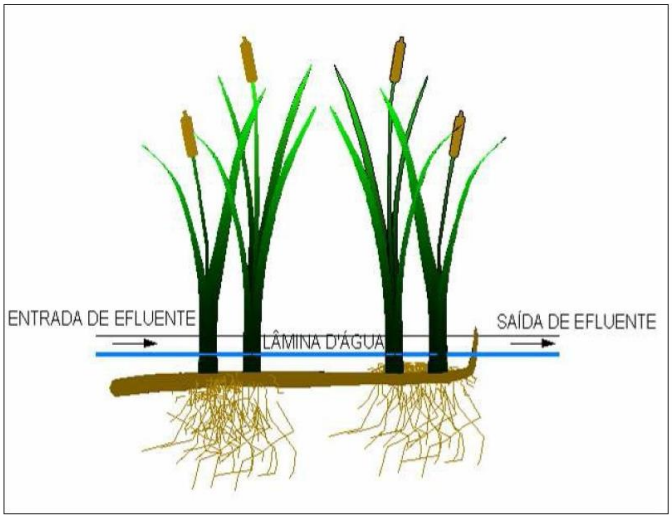
e

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=scirpus&oq=scirpus&gs_l=img.3..0i19l10.1077.3090.0.3655.7.7.0.0.0.0.276.1194.2-5.5.0....0...1ac.1.57.img..2.5.1187.-vulI1TfwJY (*Scirpus*)

e

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=typha&oq=typha&gs_l=img.12..0i19l10.2883.2883.0.5405.1.1.0.0.0.0.631.631.5-1.1.0....0...1ac..57.img..0.1.630.jQVlNtCvRPo (*Typha*)

O conceito de tratabilidade biológica de poluentes em um banhado construído é relativamente simples: o sistema plantas/raízes e material suporte enjaulam e prendem os poluentes que começam a ser degradados pelos microrganismos aeróbicos que estão presentes na rizosfera das plantas (proximidades das raízes) ou por microrganismos anaeróbicos presentes em biofilmes isentos de oxigênio. Esses biofilmes se formam sobre as partículas de brita, pedras e areia que constituem os leitos suportes de cultivo das plantas. Conforme o tipo de banhado ou de plantas emergentes, os biofilmes também podem ser aeróbicos, anóxicos ou facultativos.



Sistema SAL - Superfície Alagada Livre
Fonte: Carvalho, 2010

As plantas possuem diversas funções vitais para os banhados construídos:

- Liberação de oxigênio para o efluente, seja por fotossíntese de regiões aéreas submersas ou por liberação de ar aprisionado pelas raízes em bolsões de ar, conhecidos como aerênquimas. Esse oxigênio é imediatamente disponibilizado para as colônias de microrganismos aeróbicos, que se energizam pela decomposição da matéria orgânica poluente.

  Os aerênquimas são bolsões de ar presentes nas raízes e folhas de plantas macrófitas aquáticas. Esses bolsões são resultado de adaptações naturais das plantas em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio. Os bolsões armazenam ar para utilização pelas plantas, mas acabam liberando oxigênio para o meio onde estão os microrganismos aeróbicos. Isso ocorre porque os bolsões se formam pelo afrouxamento dos tecidos das plantas, ficando espaços entre as células que permitem a fuga do ar acumulado para o meio externo.

- Exsudação de enzimas extracelulares pelas paredes das raízes das plantas para colaborar na degradação enzimática de poluentes, visando à disponibilização de nutrientes para as plantas, principalmente de nitrogênio.

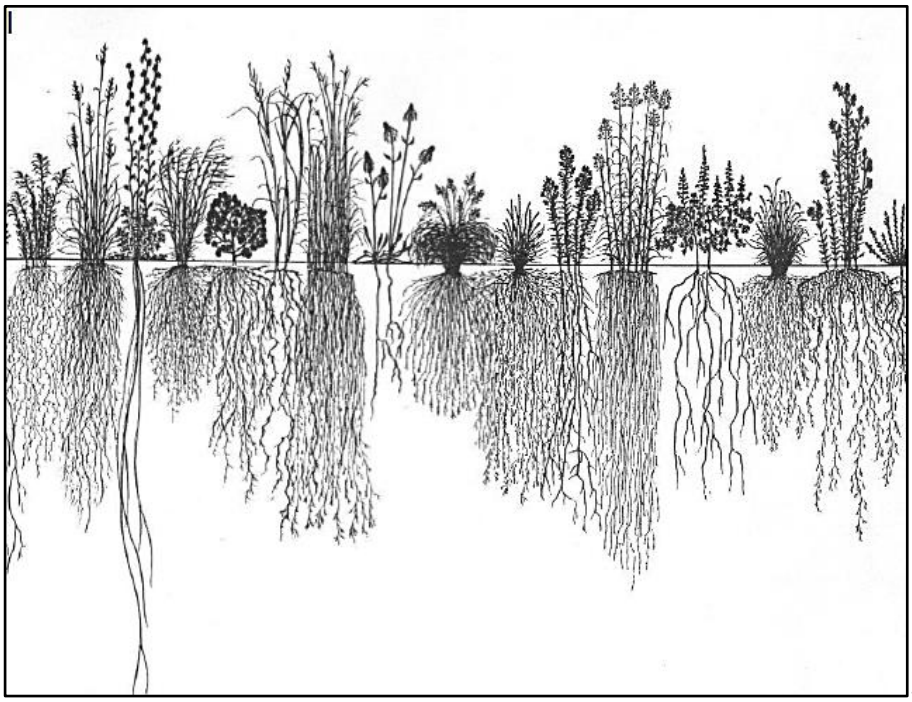
- Transpiração para acelerar o processo de absorção de seiva bruta rica em nutrientes para o interior das plantas macrófitas.

- Fotossíntese para formação de novas células e para liberação de oxigênio para os aerênquimas ou para a água (via estômatos da parte aérea em contato com a água, porosidade natural dos tecidos ou difusão através paredes celulares).

- Filtração de poluentes pelo sistema de raízes entrelaçadas aderidas ou não (plantas flutuantes) ao material suporte do leito de cultivo.

- Absorção do gás carbônico liberado pela decomposição da matéria orgânica e uso do mesmo para processos de fotossintetização.

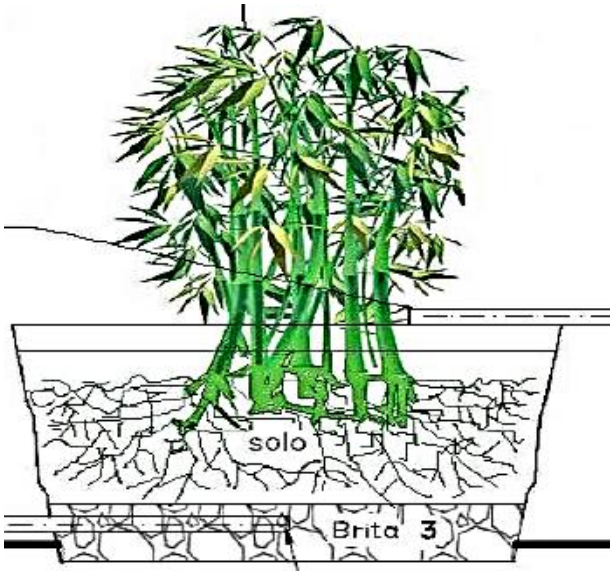
- Controle do crescimento de algas pelo sombreamento e pelo abrigo de microrganismos na rizosfera. Esses microrganismos são mais rápidos para usar o oxigênio em seus processos metabólicos do que as algas verdes, que poderiam contaminar os biofilmes e o leito cultivado.



Quanto mais raízes, melhor para o banhado construído...

Quando as plantas macrófitas ou parte delas morrem (raízes, folhas e hastes), esse material acaba apodrecendo e com isso pode retornar matéria orgânica e nutriente para a fase líquida do sistema. Por essa razão, a vegetação deve estar sempre viva e ativa, com poucas plantas morrendo ou perdendo folhas.

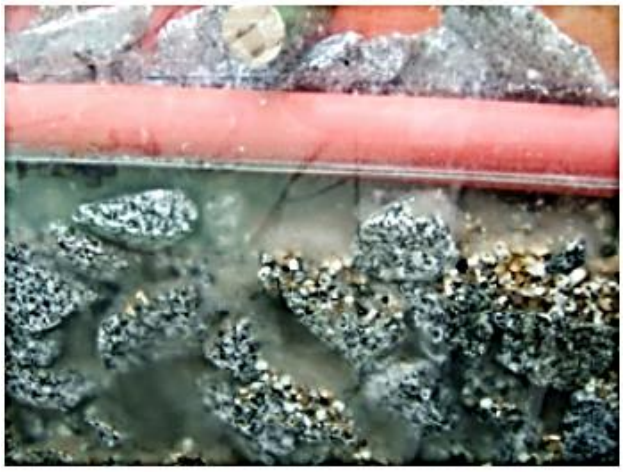
Outro ponto crítico a se ter absoluto controle é o ciclo das plantas, que como todo ser vivo, nascem, crescem, reproduzem, atingem maturidade e morrem. Há que se combinar e dominar esse ciclo, de forma a se terem as células do banhado construído com plantas sendo plantadas, outras com plantas jovens crescendo e outras com plantas maduras e em plena vegetação. Deve existir flexibilidade para se ajustar os fluxos líquidos entre setores de células do banhado para que se possa: renovar setores; promover colheita de parte superior de plantas, limpar leitos suporte para reduzir nível de entupimento, etc.



Banhado construído com adoção de bambu como planta macrófita
Fonte: Quege et al. 2013

==========

O PAPEL DOS MICRORGANISMOS NOS BANHADOS CONSTRUÍDOS



Brita do leito cultivado com crescimento de biofilme
Fonte: Laboratório de Saneamento Ambiental
UBI – Universidade Beira Interior

Os microrganismos são responsáveis pela maior parte do tratamento e não as plantas macrófitas. Por isso, torna-se da maior importância se monitorar também a microbiologia dos banhados construídos. Conhecendo-a bem, podemos integrar condições favoráveis a eles e também proceder a inoculações, caso sejam necessárias.

Os microrganismos podem ser aeróbicos e para esses deve existir oxigênio no meio em que se deseja que eles atuem. Isso ocorre próximo à superfície do banhado e na região da rizosfera (região englobada pelo sistema radicular das plantas). Qualquer procedimento que possa agitar e turbilhonar o efluente colabora para injeção de ar e oxigênio. Por isso, o tratamento mais interessante para remoção prévia de sólidos suspensos do efluente parece ser o uso de peneiras ou centrífugas e não de decantadores primários (que favorecem, nesse último caso, condições de baixo nível de oxigênio residual). Sistemas auxiliares de aeração antes da introdução do efluente no banhado construído podem ser adotados. Os mais comuns são turbilhonamento e agitação no deslocamento do efluente, com degraus e cascatas que atuam aerando pelo simples deslocamento do líquido cascateando em seu caminho pela ação da gravidade.

Alternativamente, existem microrganismos anaeróbicos que crescem mais nas profundezas do banhado, próximos ao fundo dos mesmos, em biofilmes formados em condições de anaerobiose. Em

geral, nos banhados construídos as regiões mais superficiais costumam ser aeróbicas e as profundas possuem maior grau de anaerobiose.

A degradação anaeróbica costuma formar amônia, gás sulfídrico e metano, além de gás carbônico. Alguns desses compostos podem continuar sendo degradados, serem utilizados pelos organismos (plantas e microrganismos) ou se perderem ou com o efluente ou para a atmosfera. Níveis elevados de alguns deles (H_2S, por exemplo) podem trazer condições não adequadas para alguns tipos de organismos.

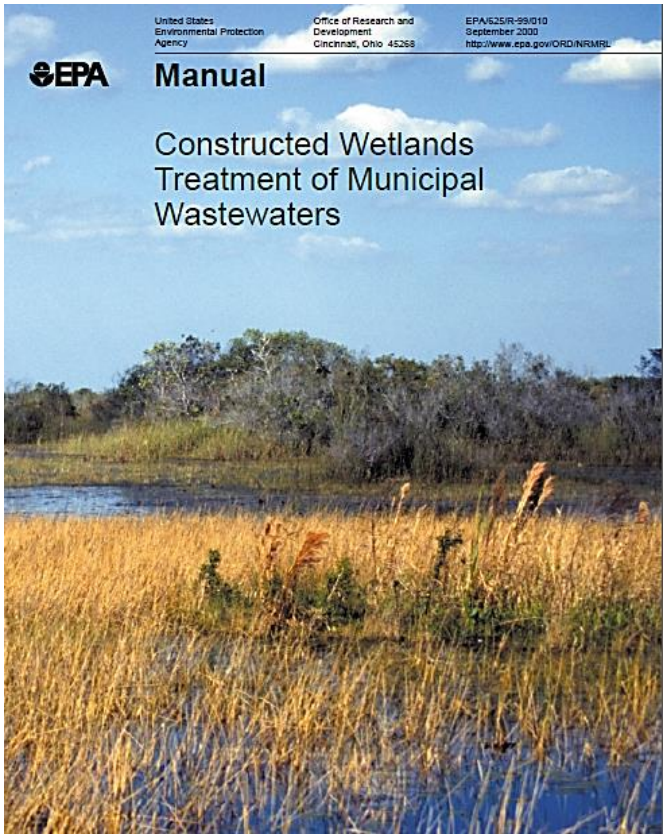
A biologia de um banhado é muito rica. Os corpos de microrganismos são fontes de alimentos para outros organismos, como protozoários, rotíferos, amebas, etc. Inclusive os microrganismos patogênicos acabam sendo predados por muitos outros desses organismos filtradores da água, quase desaparecendo no efluente final tratado.

Enfim, um banhado construído é um sistema biológico complexo e cuja microvida precisa ser monitorada, estimulada e controlada. A microbiologia do sistema pode ser facilmente acompanhada em laboratórios auxiliares, pelo cultivo de placas de Petri com meios de cultura e uso de microscópios óticos. Com isso, torna-se possível se proceder à identificação e contagem de bactérias coliformes, helmintos, protozoários, rotíferos, fungos, bactérias redutoras de sulfato, de nitratos, etc.

Contagem de bactérias em placa de Petri e meio de cultivo

==========

TIPOS DE BANHADOS CONSTRUÍDOS



Existem diversos tipos de sistemas conhecidos como banhados construídos. Uma publicação interessante e didática que apresenta com muita competência os principais tipos de banhados construídos foi escrita pelo professor Dr. Enéas Salati para a FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Ela pode ser encontrada na referência a seguir:

Controle de qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos. E. Salati. FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. 19 pp. (2006)

http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf

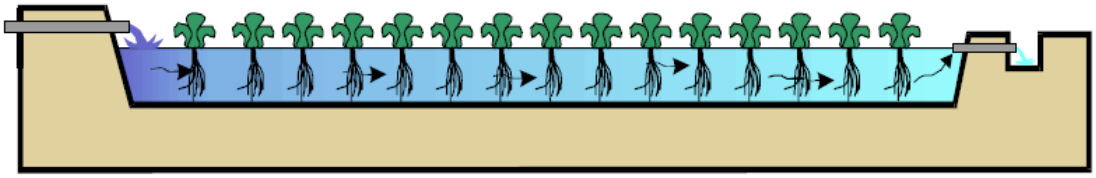
Basicamente, existem cinco tipos principais de banhados construídos, que serão posteriormente detalhados em seus conceitos e princípios. São eles:

- Lagoas ecológicas com plantas macrófitas flutuantes;
- Lagoas ecológicas com plantas macrófitas submersas;
- Banhados construídos do tipo fluxo de água superficial livre ou superfície aquática livre;
- Banhados construídos de fluxo horizontal de água subsuperficial ou leitos de plantas aquáticas emergentes com fluxo líquido horizontal;
- Banhados construídos de fluxo vertical de água subsuperficial ou leitos de plantas aquáticas emergentes com fluxo líquido vertical.

SAL – Superfície Aquática Livre com taboas
Fonte: Carvalho, 2010

==========

LAGOAS ECOLÓGICAS COM PLANTAS MACRÓFITAS FLUTUANTES



Fonte: Cunha, 2006

As lagoas ecológicas costumam ser lagoas rasas onde são introduzidas plantas macrófitas flutuantes ou submersas para atuarem sobre os poluentes. O principal tipo de lagoa ecológica é o que se vale de plantas flutuantes de aguapé para cumprir papel de despoluidor de efluentes.

O aguapé (*Eichhornia crassipis*) é uma das plantas que mais aumenta sua biomassa vegetativa por unidade de tempo, desde que encontre condições de temperatura e salinidade adequadas. Há relatos de que o aguapé pode duplicar sua massa vegetal em menos de duas semanas, em ambientes com fartura de nutrientes e adequadas temperaturas. As duas condições críticas para o sucesso do tratamento com aguapés são: temperatura (acima de 12ºC e até 40ºC) e carga poluente favorável às plantas. Essa favorabilidade consiste em: carga orgânica, degradabilidade fácil e presença abundante de nutrientes (nitrogênio, fósforo, etc.). Quanto maior a disponibilidade de nutrientes, maior e mais rápido é o crescimento das plantas. Porém, o aguapé é muito sensível às baixas temperaturas da água, podendo morrer em temperaturas abaixo de 2ºC. Portanto, esses sistemas são mais indicados para situações de regiões tropicais, subtropicais e temperadas, devendo evitar regiões muito frias e de alta pluviosidade.

O denso sistema radicular dessas macrófitas promove um aprisionamento dos poluentes, filtrando a água e possibilitando que os poluentes sejam biologicamente degradados por microrganismos associados às raízes. Como resultado desse tratamento, a carga

poluente é decomposta e substituída pela densa produção de corpos de aguapés. Esses corpos podem ser facilmente recolhidos da superfície, podendo ser utilizados na alimentação animal (com ressalvas, devido aos potenciais patógenos e metais pesados), em compostagem para produção de adubos orgânicos ou decompostos anaerobicamente para obtenção de biogás.

Esse tipo de lagoas não necessita de alimentação contínua de efluentes, podendo receber fluxos intermitentes, conforme sejam gerados os efluentes. São também sensíveis às chuvas, perdendo eficiência em dias nublados e de baixa insolação. O excesso de chuvas reduz o tempo de residência do efluente nas lagoas.

Em geral, constroem-se duas ou mais células ou lagoas, o que facilita o direcionamento de fluxos e possibilita separação de células para limpezas e manutenções. A separação se faz com diques que permitem que os operadores caminhem sobre eles para realização de operações e de manutenções.

As plantas devem ser selecionadas em função de:

- Tipo de contaminante a ser tratado;
- Adaptação ao clima local (temperaturas e regime de chuvas);
- Disponibilidade regional;
- Rapidez de crescimento;
- Condições de vegetação;
- Desempenho na função;
- Potencial de utilização do material colhido;
- Baixo nível invasivo.

Lagoa ecológica contendo células com aguapés

Para elevar a taxa de decomposição e eficiência no tratamento, o efluente pode ser previamente aerado e ter seus sólidos suspensos removidos por filtração. São comuns as contaminações com outros tipos de macrófitas flutuantes ou submersas, além do aguapé tradicional. Existe até mesmo um desejo dos que se valem dessas lagoas em se terem diferentes tipos de plantas atuando de forma conjugada. Por isso, são comuns os tratamentos que colocam no mesmo sistema, lagoas associadas e com plantas flutuantes, plantas submersas e plantas emergentes enraizadas como as taboas.

As lagoas ecológicas costumam demandar grandes áreas de terrenos para sua construção e como deve ser feita a impermeabilização do fundo e das laterais das mesmas, o sistema mostra essa exigência como forte gerador de custos de investimento.

A impermeabilização precisa ser de no mínimo argila compactada. Um sistema de poços externos permite acompanhar a perda de efluentes por vazamentos e a eventual contaminação do lençol freático. Devem ser buscadas áreas de lençóis freáticos mais profundos, fugindo assim de áreas alagadas e com água subterrânea muito superficial.

Lagoa ecológica com diversos tipos de plantas macrófitas

O tempo de residência deve ser de no mínimo um a dois dias por célula. Com adequadas operações e eficiente planejamento, podem ser atingidos excelentes níveis de redução de poluentes como DBO (70 a 95%), DQO (60 a 85%), nitrogênio (65 a 95%), fósforo (65 a 95%) e sólidos suspensos (acima de 90%).

Esse tipo de tratamento é muito exigente em cuidados para evitar que pessoas e animais entrem em contato com as plantas, pois elas podem estar contaminadas com poluentes e agentes patógenos. Existe também a possibilidade de crescimento de insetos, alguns dos quais podem ser transmissores de doenças aos animais e seres humanos. O odor também pode ocorrer, principalmente se as lagoas tiverem áreas de anaerobiose e formação de metano e material orgânico em estágios diversos de putrefação.

Resumindo, essas lagoas são sistemas simples e muito eficientes para situações onde se deseje algum tipo de tratamento a baixos custos e com mínima demanda de recursos. As suas principais vantagens e desvantagens podem ser colocadas como sendo:

- ✓ O tratamento pode se tornar esteticamente atrativo, dando a impressão de se dispor de um jardim flutuante para tratar o efluente;

- ✓ Demanda baixo nível de investimentos, desde que se disponha da área para sua construção;

- ✓ Há alta demanda de trabalho humano para colheita, compostagem, limpezas, manutenções, o que acaba encarecendo os custos de tratamento;

- ✓ O sistema é de fácil operação e construção;

- ✓ As plantas podem se tornar invasivas a outros ecossistemas regionais, pois pode ocorrer fuga de plantas com o efluente tratado;

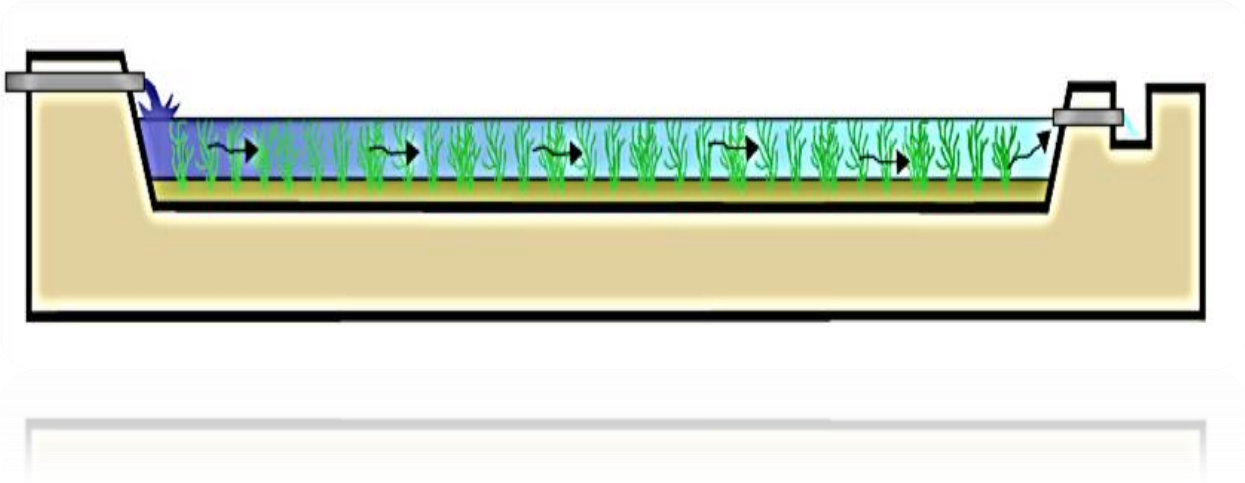
- ✓ O sistema pode também se contaminar com outros tipos de macrófitas aquáticas de menor eficiência do que as macrófitas selecionadas;

- ✓ Ocorre grande deposição de lodo no fundo das lagoas, fazendo com que sejam necessárias limpezas das mesmas. Isso requer esvaziamento completo das lagoas assoreadas, um procedimento caro, complicado e que exige que se disponha de mais células para flexibilizar a realização dessa operação.

Lagoa ecológica com plantas flutuantes

==========

LAGOAS ECOLÓGICAS COM PLANTAS MACRÓFITAS SUBMERSAS



Fonte: Cunha, 2006

Essas lagoas são derivações do sistema anterior que usa plantas flutuantes, só que possuem plantas enraizadas que mantêm grande parte de sua área vegetativa fotossintetizadora submersa no líquido. Os tecidos fotossintetizadores acabam dando uma excelente oxigenação à água, pois a fotossíntese gera oxigênio que é liberado e captado pelo sistema. Entretanto, para que ocorra a fotossíntese, há necessidade de que o efluente não escureça a água, pois isso dificultaria a captação da radiação luminosa requerida pelas plantas.

As principais plantas macrófitas utilizadas são:

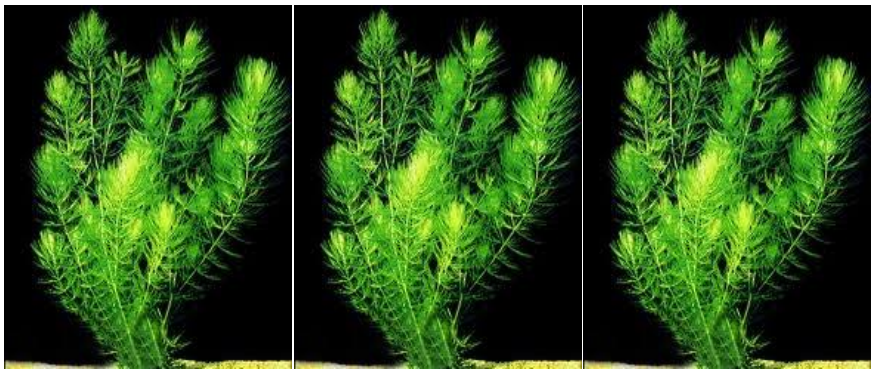
Egeria densa (Egéria) - https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=egeria+densa&oq=egeria+densa&gs_l=img.3..0i19l2.727.2731.0.2946.12.9.0.0.0.0.361.640.2-1j1.2.0....0...1ac.1.57.img..10.2.638.FFjth5coxfQ

Elodea canadensis (Elódea) – https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=elodea+canadensis&oq=elodea+canadensis&gs_l=img.3...56.5849.0.6284.18.11.0.0.0.0.1247.1247.7-1.1.0....0...1ac.1.57.img..17.1.1245.8q2jq0AB-Fc

Ceratophyllum (ceratófilo) – https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=ceratophyllum&oq=ceratophyllum&gs_l=img.3..0i19l8.1472.5336.0.6940.13.11.0.2.2.0.296.2145.2-9.9.0....0...1ac.1.57.img..2.11.2178.ca-5gzw6_fQ

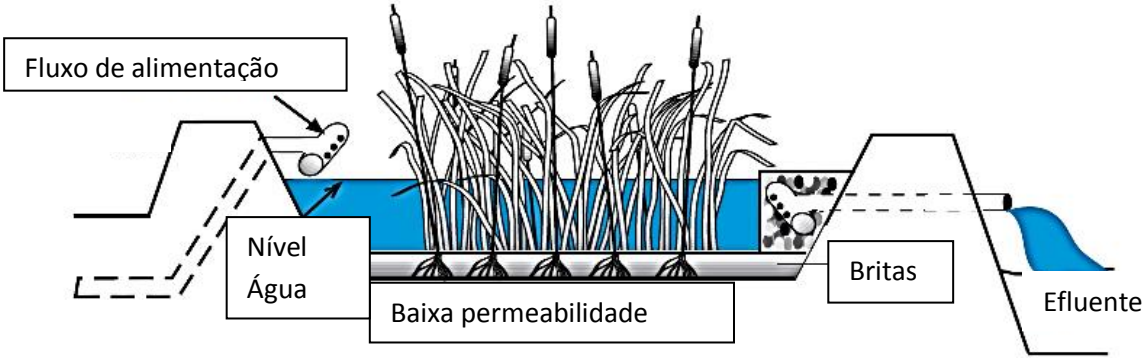
Há muitos casos de adoção de sistemas híbridos entre plantas flutuantes e plantas submersas. Desde que não ocorra competição e morte de plantas, os sistemas híbridos são bastante interessantes. O modelo mais usual consiste em se iniciar com uma lagoa com plantas submersas, que oxigenam o líquido, seguindo o mesmo para outra lagoa com plantas flutuantes. Isso potencializará a ação degradadora pela melhor aeração do efluente sendo tratado. Lembrem-se de que o oxigênio é importantíssimo para os microrganismos aeróbicos que vivem na região da rizosfera das plantas.

O tratamento com plantas submersas costuma ser realizado em lagoas estreitas e longas, enquanto o com plantas flutuantes em lagoas mais largas e mais profundas.



==========

BANHADOS CONSTRUÍDOS DO TIPO FLUXO DE ÁGUA SUPERFICIAL LIVRE OU SUPERFÍCIE AQUÁTICA LIVRE



Sistema SAL – Superfície Aquática Livre
Fonte: Pipeline, 1998

Os sistemas com fluxo de água superficial livre são processos criados para imitarem os banhados naturais, sendo que o fluxo de efluente passa acima do leito de enraizamento e entre as plantas cultivadas nesse leito. A água corre então superficialmente, embora possa também penetrar, mas não percorrer preferencialmente pelo leito cultivado, pois os fluxos não são facilitados para que possam acontecer dessa forma.

Da mesma forma que outros ecossistemas de água livre (lagoas ecológicas e banhados naturais), esses sistemas são muito sensíveis ao clima, como chuvas, insolação, sombreamento, granizo, ventos, etc. Por isso mesmo, o sistema pode se mostrar imprevisível, conforme alterações bruscas e constantes das condições climáticas.

As associações com microrganismos ajudam a destruição das moléculas complexas dos poluentes e a liberação de nutrientes, que são absorvidos pelas plantas macrófitas. Já a matéria orgânica poluente se converte em substâncias simples e em última instância em gás carbônico e água. Os sólidos suspensos precisam ser removidos previamente, mas as partículas que persistem acabam se decantando na superfície do leito profundo e aos poucos vão entupindo esse leito onde crescem as raízes. Isso dificulta as trocas de oxigênio entre as raízes e os microrganismos que habitam a rizosfera. Portanto, com menor ação dos microrganismos, a eficiência do sistema piora bastante. Fica então claro que a remoção prévia dos sólidos suspensos precisa ser bastante eficiente.

A água que corre na superfície livre interage com a atmosfera e recebe insolação direta da luz solar e também se oxigena pelo contato direto com o ar.

Os objetivos do tratamento são: decomposição da matéria orgânica poluente do efluente, absorção dos nutrientes e filtração das partículas pelo sistema. Existe uma intensa e ativa comunidade biológica interagindo no sistema, sendo que macrófitas e microrganismos são as chaves para o sucesso do processo. A eficiência do sistema é razoavelmente boa para redução das contaminações de DBO, DQO, N, P, patógenos e outros elementos nutrientes que a matéria orgânica possa disponibilizar para esses sistemas biológicos.

As condições variam entre aeróbicas e anaeróbicas. O fundo do leito costuma ser anaeróbico, porém a superfície da água em contato com a atmosfera e a zona das raízes (rizosfera) contém oxigênio e promovem o desenvolvimento de microrganismos aeróbicos.

O leito para crescimento das raízes não precisa ser muito profundo, sendo construído por camadas de britas e areia. As laterais e o fundo precisam de impermeabilização com argila ou geotecidos para garantir estanqueidade e ausência de penetração de poluentes no solo e no lençol de água subterrânea.

O fluxo de água é mantido correndo sobre a superfície do leito em uma altura entre 10 a 50 cm. Tanto a água, como a rizosfera e os biofilmes formados sobre as britas precisam de monitoramento microbiológico para se buscar evidências de que as colônias de microrganismos estejam vivas, ativas e dinâmicas. Também o teor de oxigênio residual precisa ser avaliado e controlado, até mesmo para que se possa usar de artifícios extras para se enriquecer o mesmo, onde e quando requerido.

O sistema pode ser desenhado com diversas células, sendo as mesmas distribuídas tanto em série como em paralelo, o que permite enorme flexibilidade operacional.

No setor de celulose e papel, esse sistema pode ser útil para tratar águas contaminadas de chuva, águas de lavagem de toras, águas de pátios de madeira, águas de pátios de resíduos sólidos, etc. Com isso, permitem-se a reciclagem de diversos tipos de águas e maior grau de fechamento do sistema fabril. Outra vantagem muito apreciada pelo uso desse sistema é a beleza estética e a oportunidade de se conseguir maior divulgação de ações de sustentabilidade pela empresa.

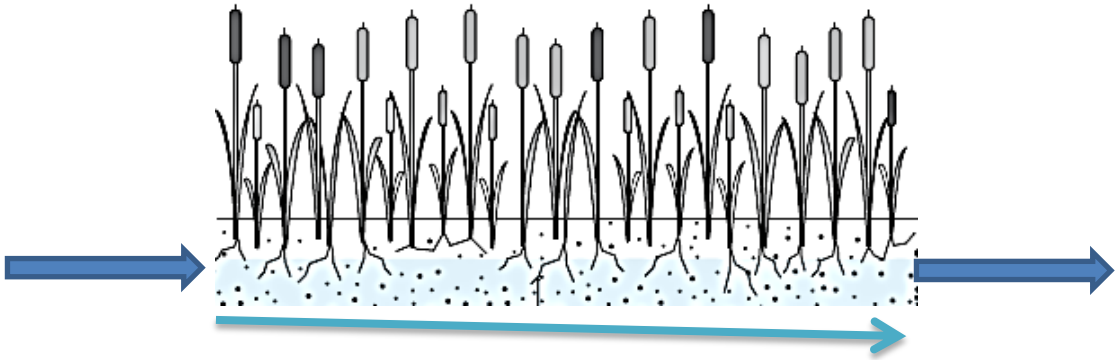
As principais desvantagens são de natureza biológica, sendo algumas resultantes do lençol de água livre superficial. Dentre elas se destacam: liberação de odor, presença de mosquitos e insetos, presença de patógenos nas hastes e folhas das plantas, contaminações com plantas invasoras e dispersão de sementes das plantas cultivadas para outros ecossistemas vizinhos.

O sistema SAL é muito sensível ao clima, à qualidade do efluente sendo tratado e às flutuações de fluxos. Também demanda maiores áreas de terras e de construções do que os sistemas de fluxos subsuperficiais. As colheitas das plantas ou de suas partes aéreas são mais difíceis de serem feitas, pois requerem esvaziamento das células, o que é mais uma desvantagem do sistema.

Enfim, apesar das vantagens e das tentativas de aproximar esses banhados construídos aos banhados naturais, a tendência atual tem sido a preferência por sistemas de fluxos subsuperficiais.

==========

BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL DE ÁGUA SUBSUPERFICIAL OU LEITOS DE PLANTAS AQUÁTICAS EMERGENTES COM FLUXO LÍQUIDO HORIZONTAL



Para esse tipo de banhados construídos, o leito é projetado para favorecer o fluxo horizontal e subsuperficial através da camada construída do mesmo, em geral de brita, pedras e areia, com fundos e laterais impermeabilizados. As plantas macrófitas são enraizadas no leito e formam uma vegetação que se parece muito com uma área de várzea sem água livre na superfície.

O leito e as raízes filtram as partículas suspensas de poluentes e os microrganismos se encarregam de degradar a matéria orgânica. Já as plantas absorvem os nutrientes liberados e alguma fração do CO_2. Portanto, o leito atua tanto como filtro, como canal de escoamento e como suporte para as plantas. Por isso, devem ser leitos porosos e ao mesmo tempo resistentes para permitir que as plantas se fixem e não sejam arrastadas ou se tombem.

As raízes liberam oxigênio que estava armazenado em aerênquimas para a região da rizosfera. Com isso, os microrganismos aeróbicos conseguem se desenvolver e degradam uma fração importante dos poluentes orgânicos. A eficiência de remoção de poluentes depende da área do banhado, da densidade de plantas e de raízes, da profundidade e efetividade do leito, e de sua porosidade e permeabilidade.

Para que o leito não se entupa e fique obstruído com partículas, o efluente deve ser pré-tratado para remoção do máximo que for possível de sólidos suspensos. Também aqui se recomenda que o efluente passe, antes de ser enviado ao banhado, por um canal com degraus e cascatas para que ele seja previamente aerado. Essa aeração favorecerá a ação dos microrganismos aeróbicos, com melhor desempenho do sistema.

Recomenda-se monitoramento frequente dos fluxos para se ter certeza de que o líquido esteja fluindo bem, sem canais preferenciais e sem entupimentos.

O leito pode ter entre 50 a 100 centímetros de profundidade, sendo constituído por diversas camadas de partículas, mais comumente de brita, pedras e areia. As dimensões das partículas variam entre 3 a 40 mm de diâmetro. Outros meios filtrantes para o leito têm sido usados com sucesso: partículas de escória da siderurgia, elementos plásticos, etc.

O nível de água em fluxo horizontal deve ficar entre 5 a 15 cm abaixo da superfície do solo para garantir que o fluxo seja 100% subsuperficial. Não deve haver contato do efluente com o ar, com a luz solar e com os ventos.

As plantas são selecionadas dentre as que possuam riqueza e abundância de raízes como diversas gramíneas e taboas. As raízes devem ser fasciculadas e intensas, mas não podem entupir o leito, pois os fluxos hidráulicos devem ser mantidos. O arranjo das plantas deve ser tal que favoreça e não impeça o fluxo dentro das células. A perda de carga hidráulica e o entupimento do leito exigem monitoramento frequente do leito e da vegetação. Caso ocorra entupimento do leito ou adensamento exagerado das plantas, deve parar a célula para limpeza ou colheita de plantas.

A integridade de espécies de plantas e as eventuais contaminações com outras espécies invasivas e indesejáveis precisam ser realizadas pelos operadores

Outro fator que causa perda de carga hidráulica é o crescimento de biofilmes de microrganismos sobre as partículas do leito cultivado. Apesar de a formação de biofilme ser desejável, muitas vezes há entupimento por biofilmes já ineficientes ou mortos. Por isso, a retrolavagem do leito ou sua troca de tempos em tempos podem ser necessárias.

O sistema também demanda grandes áreas para muitas células de tratamento. Não costumam ser usados para esgotos brutos "in natura", pois já sabemos que os sólidos suspensos devem ser mantidos em níveis muito baixos.

O maior dos problemas desse sistema é o entupimento do leito, impedindo o livre escoamento por gravidade do líquido. Esse escoamento ocorre naturalmente e sem necessidade de energia, porque o fundo da célula do banhado mostra uma ligeira declividade.

Essa fitotecnologia é indicada para regiões de climas quentes, que possibilitam intensa atividade biológica no banhado. Entretanto, a evapotranspiração pode reduzir a fluxo de efluente tratado, o que não se deseja quando houver interesse de reutilização desse efluente.

Os rendimentos em remoção de DBO, DQO, nutrientes e patógenos são bastante interessantes. Como o fluxo ocorre abaixo da superfície do leito, não ocorre efluente livre na superfície do banhado. Isso é uma grande vantagem desse processo em relação aos anteriores apresentados. Cada banhado desse tipo deve ser projetado

em função do tipo de efluente a tratar, da eficiência desejada, da área disponível, dos fluxos e das plantas selecionadas para a realização do serviço de depuração. A microbiologia também pode ser melhorada por inoculações prévias, ou pelo uso de britas já impregnadas com biofilmes de alto desempenho. Para inoculação, pode-se usar material colhido de células com desempenho eficiente.

O aspecto desses banhados construídos é magnífico e muito atrativo para se compor com os jardins da empresa ou da municipalidade onde estejam sendo utilizados.

As principais vantagens desse sistema são tais que o colocam como um dos mais usuais métodos de tratamento de efluentes pela técnica da biotecnologia de banhados construídos:

- Baixos custos de investimento;
- Baixos custos operacionais, pois praticamente não demandam eletricidade;
- Adequadas reduções de DBO, DQO, nutrientes e patógenos;
- Não causa problemas de odor, de patogenicidade ou de agentes transmissores de enfermidades. É o processo considerado mais limpo de todos os sistemas de banhados construídos.
- Não sofre tanto efeito do clima, pois o efluente em sua maior parte está em localização subsuperficial. Entretanto, as chuvas prejudicam o fluxo e o tempo de residência, pois aumentam a quantidade de água no banhado.

Suas principais desvantagens são:

- Alta exigência de áreas para construção das células necessárias;
- Frequentes lavagens de leitos e colheitas de excesso de vegetação;

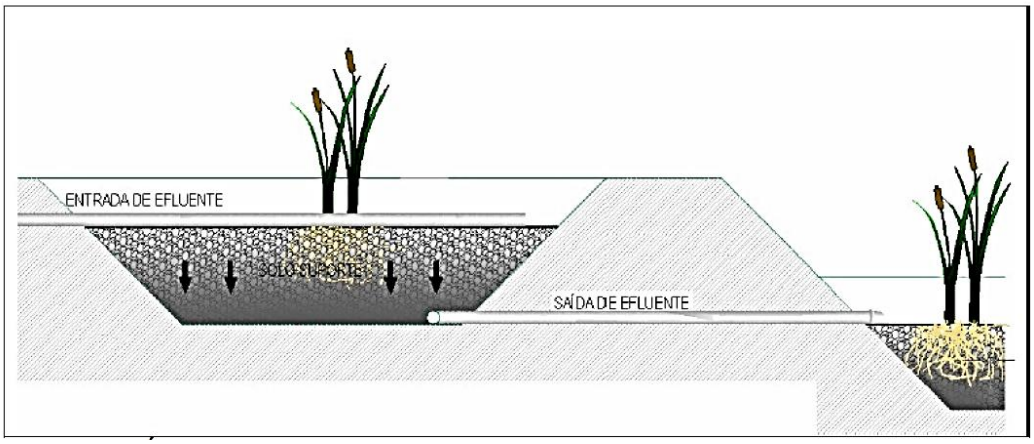
- ψ Grande sensibilidade a variações bruscas da qualidade do efluente;

- ψ Maior necessidade de qualificação técnica do pessoal operacional e de monitoramento.

Junco sendo colhido em um banhado construído

==========

BANHADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL DE ÁGUA SUBSUPERFICIAL OU LEITOS DE PLANTAS AQUÁTICAS EMERGENTES COM FLUXO LÍQUIDO VERTICAL



Banhado de fluxo vertical subsuperficial
Fonte: Carvalho, 2010

Nesse tipo de sistema, o leito é alimentado com efluente pela superfície e drenado pela parte inferior, podendo esse efluente recolhido alimentar outra célula projetada pra operar em nível mais baixo. Toda a concepção do banhado é para uso do máximo possível da força de gravidade para movimentar o líquido dentro da célula e entre células. As principais diferenças entre esse sistema e o anterior são: a alimentação é por cima e intermitente e o fluxo líquido é vertical, ou seja, através do leito no sentido vertical. Enche-se a superfície do banhado e se deixa a massa líquida fluir verticalmente através do leito até toda ela passar, para voltar a se alimentar a célula. É por isso mesmo muito mais trabalhoso e demandante de mão-de-obra, porém há versões onde o fluxo permanece de forma contínua, porém o controle deve ser maior para evitar transbordamentos.

O leito atua como um filtro e também como um substrato ao crescimento das raízes das macrófitas. A base desse leito deve conter uma camada mais grosseira de britas para facilitar a drenagem.

Em função do fluxo intermitente, no mesmo leito temos condições de falta de oxigênio (anaerobiose, com o leito saturado) ou de presença (aerobiose, com o leito se esvaziando). Essa condição de alternância entre anaerobiose e aerobiose favorece o desenvolvimento de múltiplos microrganismos.

Além disso, as raízes se tornam profundas e elas liberam oxigênio mesmo em profundidade. Dessa forma, a ocorrência de organismos distintos é uma constância nesse sistema.

Tanto a estrutura do leito, como as raízes das plantas macrófitas colaboram para o processo de filtração do efluente através desse leito. O processo depende muito das plantas e de suas raízes, da permeabilidade do leito, da filtração do efluente, do fluxo intermitente e da ação das plantas em processo de fotossíntese e evapotranspiração. Pode-se depreender disso que o efluente precisa ser bastante isento de sólidos suspensos. As próprias raízes das plantas e os biofilmes precisam de atenção para que não causem entupimentos no leito, afetando o deslocamento do efluente. As macrófitas mais comumente utilizadas são: taboas, gramíneas, juncos, caniços d'água, etc.

Em função das condições de alternância entre anaerobiose e aerobiose, deve ser mantida especial atenção sobre as alterações no tipo de nitrogênio presente. Isso porque o nitrogênio orgânico pode ser convertido em amônia, nitrito, nitrato e também nitrogênio elementar, conforme as condições predominantes de oxigenação. A principal tendência é a nitrificação em condições de presença de oxigênio, ou seja, a conversão do nitrogênio orgânico em nitrato. Entretanto, existem organismos anaeróbicos que desnitrificam o nitrato e o convertem em amônia e até mesmo em nitrogênio elementar, valendo-se do uso do oxigênio da molécula do nitrato em seu metabolismo. Por outro lado, existem microrganismos aeróbicos que convertem a amônia em nitritos e nitratos, utilizando o oxigênio do meio nesse processo de oxidação.

Os sistemas de banhados construídos de fluxo vertical subsuperficial são robustos e aguentam condições variadas de temperatura e de oxigenação. Deve-se, porém, manter atenção sobre as contaminações eventuais de espécies de macrófitas e sobre a microbiologia do sistema.

As principais vantagens para esse tipo de sistema são:

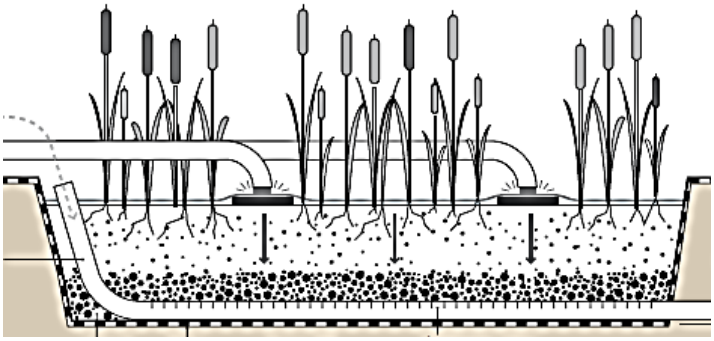
- Altas taxas de redução de DBO, DQO, nutrientes e patogenicidade;
- Capacidade de se controlar as alterações do nitrogênio em suas formas de maior interesse (em geral, o nitrato);
- Reduzidas ocorrências de entupimentos, principalmente pela camada de brita grosseira no fundo do leito;
- Baixos custos operacionais;
- Menores áreas requeridas em relação aos demais tipos de banhados construídos.

As principais desvantagens:

- Necessidade de maior aplicação de energia elétrica do que os demais tipos de banhados construídos;

- Necessidade de maior nível de monitoramento e controle operacional;

- Necessidade de pessoal muito mais qualificado para projetar, implementar e operar o sistema.



==========

FATORES DE PROJETO EM BANHADOS CONSTRUÍDOS

Fonte: Wagner David Gerber, 2014

A construção de um banhado construído deve focar os seguintes pontos fundamentais:

- A impermeabilização plena do fundo e das paredes do leito das células, quaisquer que sejam os sistemas adotados;

- A qualidade e o desempenho do leito suporte onde serão enraizadas as plantas macrófitas. Esses leitos devem favorecer o crescimento das raízes, manter as plantas firmes e seguras, aceitar o desenvolvimento de biofilmes de microrganismos e permitir o fluxo horizontal ou vertical do líquido através do leito;

- As plantas macrófitas selecionadas e o seu crescimento vegetativo (sistema radicular, capacidade de filtração, capacidade de aeração, capacidade de associação com microrganismos, resistência e tolerância às condições do clima e do sistema, resistência a pragas e a outras espécies invasivas, etc.);

- Os microrganismos (identificação, inoculação de organismos propícios, enriquecimento da colônia, etc.);

- O regime hidráulico que se deseja introduzir para o fluxo do líquido nas células (fluxo, distribuição, recirculações, divisões, retroalimentações, reuso de águas, etc.);

- A introdução de sistemas auxiliares para aeração, cascateamento dos líquidos, balanceamento de nutrientes, divisão de fluxos, etc.;

- A complexidade do sistema a ser construído, com possibilidades de utilização de sistemas híbridos. Isso necessariamente envolve um pré-tratamento para remoção de sólidos suspensos e conjugação do banhado construído com outros tipos de tratamentos, inclusive diferentes tipos de conceitos das próprias células do banhado; etc.

O projeto de um sistema de banhados construídos começa com a escolha do melhor local, a distribuição das células e os fluxos dos líquidos. A partir dai e do projeto pronto, começam as escavações para a construção das células do banhado. O revestimento interno das células costuma ser feito com geotecidos ou por argila compactada, conforme o nível de complexidade e de exigências.

A colocação do leito suporte deve obedecer a rígidas especificações dos constituintes, distribuição das camadas e ordenamento de forma que os fluxos hidráulicos sejam favorecidos.

Tendo os leitos prontos, a próxima etapa é a semeadura ou a plantação de mudas das plantas macrófitas. Imediatamente se inicia a irrigação, inicialmente com água e depois gradualmente substituindo a água pelo efluente. Com isso, as plantas crescem e vão-se adaptando às condições de trabalho que deverão executar.

Sugere-se a inoculação de microrganismos, que pode ser feita com a adição de britas contendo biofilmes ou de lodo colhido na limpeza de outras células de banhados em pleno uso.

Em um a dois anos o banhado construído estará em vegetação plena e densamente ocupado pelas plantas e por suas raízes. Nesse momento, ele terá sua capacidade efetiva de depuração de efluentes.

Sugiro que vocês leiam o arquivo de uma palestra apresentada pelo amigo Dr. Wagner David Gerber, um dos maiores especialistas latino-americanos em temas de banhados construídos pelo sistema de plantas enraizadas e emergentes. Nessa palestra, em espanhol, o Dr. Gerber disponibiliza diversas fotos de etapas construtivas de um banhado, o que favorece um melhor entendimento sobre essa biotecnologia.

Tecnología de humedales construídos. W. Gerber. Ecocell. Apresentação em PowerPoint: 94 slides. (2014)

http://www.humedalriocruces.cl/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=2234 (em Espanhol)

A construção dos banhados artificiais pode também aproveitar áreas marginais que existem nas empresas ou outros empreendimentos; em geral, áreas que foram agredidas ou degradadas pela remoção de terra, pedras, etc. Escavações que tenham sido feitas nessas áreas podem ser utilizadas e adequadas para a construção de células dos banhados.

A declividade do terreno, para favorecimento do escoamento de líquidos por gravidade é outro fator determinante nesse tipo de projeto, garantindo mínimos custos operacionais com eletricidade.

Outro fator muito importante é a seleção dos componentes estruturais do leito filtrante, que será também o suporte para o enraizamento das macrófitas. O desempenho desse leito é função do tipo, dimensões, regularidade e persistência dos seus constituintes. Esses materiais precisam ser arranjados de forma ordenada e com muita competência técnica para que possam dar conta do recado. Os materiais mais comumente utilizados são: britas de pedras de diferentes dimensões, escórias de fundição, pedaços regulares de PVC, areia. Esses materiais têm três funções vitais: garantia de suporte das plantas que serão enraizadas; favorecimento de condições para formação de biofilmes microbiológicos; capacidade hidráulica para deslocamento dos líquidos (em especial nos banhados de fluxos subsuperficiais).

Por essas e outras razões é que temos afirmado que a construção desses tipos de banhados exige alta qualificação técnica dos envolvidos. A simples decisão de mudar as dimensões de um tipo de brita, ou a forma de se colocar as camadas pode afetar de maneira crítica tanto a porosidade como a permeabilidade do leito. Britas maiores ajudam na permeabilidade do leito, mas se reduz a área externa superficial no material para crescimento do biofilme. Uma coisa afetando a outra, como não poderia deixar de acontecer com o uso de seres vivos em processos biotecnológicos complexos.

Taboa ou *Typha*

Somente para se ter uma ideia da complexidade tecnológica que ocorre em banhados construídos, observem a longa lista de

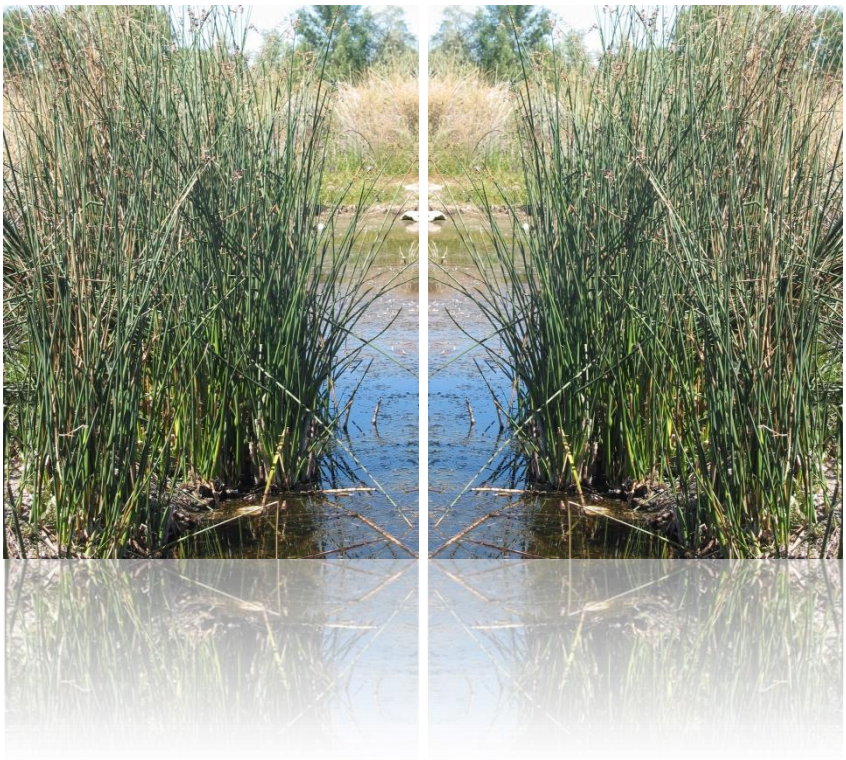
fenômenos físico-químicos e biológicos que acontecem simultaneamente em um desses banhados:

- Filtração;
- Sedimentação;
- Adsorção;
- Absorção;
- Precipitação;
- Oxigenação;
- Oxidação;
- Redução;
- Complexação;
- Nitrificação;
- Desnitrificação;
- Amonização;
- Volatilização;
- Radiação ultravioleta;
- Decomposição anaeróbica;
- Decomposição aeróbica;
- Decomposição anóxica;
- Assimilação;
- Respiração de plantas;
- Fotossíntese de seres vegetais;
- Evapotranspiração;
- Evaporação, reações químicas diversas;
- Aquecimento solar;
- Resfriamento;
- Etc; etc.

Com isso, acredito que fica muito claro que essas biotecnologias demandam muita ciência, experiência, pesquisas e estudos tecnológicos para serem adotadas com sucesso.

==========

FATORES DE EFICIÊNCIA DOS BANHADOS CONSTRUÍDOS



Scirpus

A eficiência de um banhado construído depende de seu adequado dimensionamento e do nível de adequação do mesmo ao efluente a ser tratado. Todos aqueles que se interessarem por construir um banhado para essa finalidade devem ter em mente que os banhados não são as mais excepcionais formas de tratar efluentes com altíssimos níveis de eficiência e que os desempenhos são bastante afetados pelas condições climáticas.

Recomenda-se focar o uso de banhados construídos em associação com outros tipos de tratamentos ou como tratamento único em efluentes de fácil degradabilidade e em fluxos não muito elevados. Também é preciso saber que a qualidade do efluente não deve ser muito variada, em especial quanto a temperaturas, salinidade, pH e cargas de contaminantes tóxicos a plantas e microrganismos.

Apesar de algumas limitações para efluentes complexos, os banhados construídos podem ter muito sucesso em inúmeras

utilizações, como já relatado anteriormente, até mesmo para efluentes de diversos tipos de industrializações.

A eficiência de tratamento de um banhado construído depende dos seguintes fatores operacionais e de projeto:

- Adequado dimensionamento;
- Eficiente engenharia de projeto;
- Conhecimento de rendimentos teóricos de sistemas semelhantes;
- Fluxos e concentrações dos poluentes a serem degradados e tratados;
- Biodegradabilidade desses poluentes;
- Adequação do sistema às condições climáticas locais;
- Evapotranspiração do local;
- Tipo de vegetação selecionada;
- Crescimento vegetativo das plantas macrófitas;
- Desenvolvimento microbiológico e fornecimento de condições para que isso possa acontecer bem;
- Capacidade de se ter aeração no leito e do efluente em pontos especiais do sistema;
- Capacidade de ocorrer transferência de oxigênio para a rizosfera;
- Nível de água no sistema;
- Regularidade da qualidade e dos fluxos no sistema;
- Regime hidráulico adotado no banhado;

- Tempos de residência nas células em diversas etapas do processo;

- Clima regional (estações do ano, chuvas, ventos, insolação, temperaturas, nebulosidade, etc.);

- Controles e flexibilidades desenhadas para o sistema.

Em geral, por garantia de desempenho e para atingimento dos rendimentos requeridos, os banhados construídos costumam ser superdimensionados por aqueles que fazem seus projetos. Entretanto, conforme as demandas técnicas e operacionais aumentam, eles vão sendo adaptados para melhor uso da capacidade instalada e máximos rendimentos.

Alguns banhados são projetados para reutilização parcial ou integral da água. Nesses casos, são muito importantes: qualidade do efluente, qualidade da água tratada e perdas de água por evapotranspiração.

Os melhores rendimentos em tratamento costumam acontecer nos processos de fluxos subsuperficiais, seja nos verticais ou horizontais. Os principais poluentes removidos são: DBO, DQO, SST (Sólidos Suspensos Totais), N, patógenos, K, Ca, Pb, Ni, Zn, Mo, etc.

A eficiência de um banhado construído não pode ser comparada a outros sistemas de alto e rápido desempenho como os tratamentos aeróbicos por lodo ativado ou os reatores anaeróbicos fechados. Os banhados se baseiam em tempos longos de residência, algo similar às lagoas aeradas em sistemas aeróbicos tradicionais. Os tempos de residência em banhados construídos podem variar entre 2 a 10 dias, o que oferece condições de monitoramento, adequações e ajustes antes do efluente ter sido completamente tratado. Dentre esses ajustes podem ser citados: recirculações, aeração, controle nutricional, inoculação microbiológica, etc.

A eficiência de controle e os rendimentos variam muito em função do nível de recalcitrância e da degradabilidade dos poluentes. Os valores de rendimentos para essas instalações podem então variar entre:

DQO – entre 50 a 85%

DBO - entre 60 a 95%

SST - entre 70 a 95%

N – entre 40 a 80%

P – entre 25 a 65%

Coliformes – acima de 90%

==========

BANHADOS CONSTRUÍDOS NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Fonte: Peter Hildebrandt, 2006

Banhados construídos vêm sendo pesquisados e ou adotados por empresas do setor de celulose e papel, mais especificamente para as seguintes situações:

- Tratamento de águas servidas do pátio de toras ou cavacos;

- Percolados de aterros ou de pátios de estocagem de resíduos sólidos (casca, *dregs*, *grits*, cinzas, etc.);

- Efluentes de plantas industriais produtoras de pastas de alto rendimento;

- Efluentes de fábricas de papéis reciclados;

- Tratamento final para polimento de efluentes previamente tratados por sistemas clássicos;

- Monitoramento de impactos ambientais, como mesocosmos para bioindicadação de efeitos ambientais.

Para as fábricas de celulose branqueada ou de papéis brancos integradas à produção de celulose os resultados para reduções em DBO e DQO podem não serem tão entusiasmantes. Isso em virtude dos maiores níveis de recalcitrância de compostos lignocelulósicos clorados. A relação entre DBO/DQO para esses efluentes variam entre 0,4 a 0,6 - o que indica que uma fração significativa da DQO tem dificuldades de biodegradabilidade. Por essa razão, os rendimentos em redução de DQO e DBO podem não serem tão expressivos, podendo se situar entre 30 a 60% para DQO e entre 40 a 75% para DBO.

Por essa razão, para fábricas de celulose kraft branqueada, os banhados construídos dificilmente podem ser aplicados como um tratamento secundário único, pois não há garantias de se atingirem com eles as especificações legisladas por entidades licenciadoras que coloquem restrições severas em termos de DQO, DBO, organoclorados residuais, cor, etc. Em fábricas desse tipo, os banhados construídos podem ser aplicados como tratamentos tipo "kidney" para tratamento seletivo de algum efluente específico de algum setor da fábrica. Também podem ser utilizados como tratamento final para polimento do efluente tratado por outros tipos de tratamento.

Existem muitos estudos na literatura para verificação do papel dos banhados construídos na degradação de compostos organoclorados. Alguns compostos organoclorados até que

respondem bem a esse tipo de tratamento e se decompõem em substâncias mais simples e menos problemáticas. Esse efeito acaba acontecendo em função dos tempos mais longos de residência nos banhados construídos em relação a outros tipos compactos de tratamento de efluentes. Entretanto, existem compostos organoclorados derivados de lignina que são bastante recalcitrantes e de difícil biodegradabilidade pelos banhados construídos (e até mesmo por tratamentos aeróbicos e anaeróbicos de altas eficiências).

Os sistemas de banhados construídos não são, portanto, muito eficientes em degradar compostos de alto nível de recalcitrância. Eles são mais efetivos para atuar sobre efluentes que contenham relações DBO/DQO mais elevadas, acima de 0,75.

Recomenda-se em todos os casos, que as empresas fabricantes de celulose branqueada mantenham um acompanhamento desses poluentes recalcitrantes nas fontes de origem dos mesmos, procurando reduzir a geração e não apenas pensar em enviar os mesmos para tratamento na estação de tratar efluentes. Existem sistemas mais efetivos para geração de menores níveis de compostos organonoclorados recalcitrantes, como o branqueamento ECF-Light (baixas cargas de cloro ativo total) ou com hidrólise ácida de compostos conhecidos como ácidos hexenurônicos.

Os melhores desempenhos de banhados construídos no setor de celulose e papel têm sido relatados para fábricas de pastas de alto rendimento e para fábricas de papéis reciclados. Em ambos os casos, há a necessidade crítica de se realizar uma eficiente remoção de sólidos suspensos que são abundantes nesses tipos de efluentes (finos celulósicos, fibrilas e cargas minerais).

Resultados muito interessantes têm sido relatados para fábricas de celulose e papel de pequeno a médio porte em países como Índia, Tailândia, Malásia, Vietnã, etc.

A literatura também mostra muitas referências de ótimas eficiências com efluentes de percolados de aterros industriais, de pátios de resíduos sólidos e de lagoas de emergência. Em geral, esses efluentes são ricos em compostos conhecidos como AGV's – Ácidos Graxos Voláteis, que são resultantes da decomposição anaeróbica parcial de efluentes muito ricos em matéria orgânica.

Esses ácidos graxos voláteis mostram rápida degradabilidade e são muito procurados por diversos tipos de microrganismos presentes nos leitos de cultivo e nos biofilmes biológicos.

O inconveniente desses percolados de natureza anaeróbica é a elevada concentração de sulfetos, gás sulfídrico, amônia e metano, que podem oferecer algum tipo de ecotoxicidade aos microrganismos dos banhados construídos.

De todas as formas, existem diversas e interessantes oportunidades para os banhados construídos em fábricas de celulose e papel, seja para tratar, polir ou biomonitorar efluentes. Seu papel como tratamento complementar tem sido considerado, facilitando com essa biotecnologia o atingimento de especificações legais colocadas pelas entidades de controle e licenciamento.

Existem dois casos bem recentes de decisões empresariais por banhados construídos em grandes produtores globais de celulose e papel.

Em 2006, a fábrica de papel da International Paper em Pensacola/Flórida anunciou que converteria parte de suas florestas de *Pinus* próximas à planta industrial em um banhado construído para polimento de seus efluentes.

Em 2014, a fábrica de celulose de mercado da empresa Arauco em Valdívia/Chile decidiu pela instalação de um banhado construído para biomonitorar seu efluente final tratado a nível terciário e que é descartado em um banhado natural, considerado um patrimônio da natureza (santuário do rio Cruces).

Essas decisões com muita certeza estimularão a que outros produtores de celulose e papel passem a aceitar que os banhados construídos podem ter papel relevante não apenas para empresas pequenas e médias, mas também para fábricas estado-da-arte e de altas escalas de produção.

Acreditamos que os banhados construídos poderão crescer em importância como tratamentos de efluentes setoriais (tipo “kidney”), como forma de polimento final de efluentes já tratados por outros sistemas e como estações de biomonitoramento do tipo mesocosmos.

A determinação dos estudiosos e a conscientização dos empresários por sustentabilidade acelerarão etapas e possibilitarão que isso aconteça com mais frequência no nosso setor de base florestal. Essas biotecnologias ambientais não são exclusivas ao setor de celulose e papel – elas podem ter muitas aplicações em serrarias, fábricas de painéis de madeira, fábricas de móveis, de extração de taninos, etc. Enfim, as oportunidades estão por todas as partes e algumas empresas já as descobriram.

==========

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para mim, foi um privilégio ter podido escrever e lhes oferecer esse capítulo do **Eucalyptus Online Book**. Ele foi criado com a finalidade de trazer novos conceitos ao setor de celulose e papel, que ainda não tem tido uma atuação mais dinâmica para tentar entender e utilizar a biotecnologia ambiental dos banhados construídos em suas inúmeras plantas industriais distribuídas em praticamente todos os países do planeta.

O capítulo tem ainda 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 relacionados ao tratamento de

efluentes ou biomonitoramento de impactos ambientais com a tecnologia dos banhados construídos.

Procurei integrar diversos fundamentos tecnológicos e biológicos com sugestões de aplicações práticas operacionais e de adequação de sustentabilidade no setor. Trata-se de um condensado autêntico de tudo que classifiquei de importante para aqueles que estão interessados em conhecer e aprender mais sobre esse tipo de biotecnologia ainda pouco praticada no setor, que são os banhados construídos.

Espero que o que escrevi possa lhes ser de utilidade, estimados amigos leitores.

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Artigos e textos na literatura global sobre o uso de "constructed wetlands" (banhados construídos) para tratamento de águas e efluentes existem em número expressivo, embora não sejam muitos os exemplos e aplicações para empresas do setor de celulose e papel. De qualquer forma, facilmente poderíamos compor um universo de centenas de bons artigos, mas isso acabaria se afastando do propósito inicial desse nosso capítulo, que é a objetividade e a praticidade aos leitores. Por isso, procuramos selecionar um conjunto de textos valiosos e apropriados ao nosso cenário.

Com isso, identificamos cerca de 90 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.

É muito importante que vocês naveguem logo e façam os devidos *downloading's* dos materiais de seu interesse nas nossas referências de euca-links. Muitas vezes, as instituições disponibilizam esses valiosos materiais por curto espaço de tempo; outras vezes, alteram o endereço de referência em seu website. De qualquer maneira, toda vez que ao tentarem acessar um link referenciado por nossa newsletter e ele não funcionar, sugiro que copiem o título do artigo ou evento e o coloquem entre aspas, para procurar o mesmo em um buscador de qualidade como Google, Bing, Yahoo, etc. Às vezes, a entidade que abriga a referência remodela seu website e os endereços de URL são modificados. Outras vezes, o material é retirado do website referenciado, mas pode eventualmente ser localizado em algum outro endereço, desde que buscado de forma correta.

Espero sinceramente que essa seleção de textos e websites referenciados possa lhes ser útil.

Hidrófitas ou macrófitas aquáticas. Enciclopédia Livre Wikipédia. Acesso em 22.10.2014:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3fita

e

http://pt.wikipedia.org/wiki/Macr%C3%B3fita_aqu%C3%A1tica

Biotecnologia – Ensino e divulgação. M.A.M. Malajovich. Website especializado. Acesso em 22.10.2014:

http://www.bteduc.bio.br/

Ecocell – Projetos e Consultoria Ambiental. Website especializado. Acesso em 20.10.2014:

http://www.ecocell.com.br/ (Website)

e

http://www.ecocell.com.br/FolderSistemaPAE.pdf (Sistema PAE de tratamento de águas - Plantas Aquáticas Emergentes)

e

http://www.ecocell.com.br/FolderGestaodoViveiro.pdf (Tratamento de efluentes de viveiro florestal com sistema PAE)

Phytorestore – Fitorremediação através de jardins filtrantes. Website especializado. Acesso em 20.10.2014:

http://phytorestore.com.br/

https://www.youtube.com/user/Phytorestore

GESAD - Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Acesso em 20.10.2014:

http://gesad.ufsc.br/pesquisa/ (Pesquisas do GESAD)

e

http://gesad.ufsc.br/publicacoes/ (Publicações relacionadas)

Blog Wetlands Construídos. Acesso em 20.10.2014:

http://www.wetlandsconstruidos.blogspot.com.br/

Avaliação da influência das características do meio de enchimento na remoção de carbono, azoto e matéria sólida em leitos de macrófitas de fluxo sub-superficial. LSA – Laboratório de Saneamento Ambiental. UBI – Universidade Beira Interior. Acesso em 20.10.2014:

http://deca.ubi.pt/laboratorios/lab_sanea/versao_portugues/secundarias/projectos_inv_con5.html

Constructed wetlands. Enciclopédia Livre Wikipédia. Acesso em 20.10.2014:

http://en.wikipedia.org/wiki/Constructed_wetland (em Inglês)

Sistemas naturales de depuración de efluentes. CEADU – Centro de Estudios, Análisis y Documentación de Uruguay. Acesso em 20.10.2014:

http://www.ceadu.org.uy/sistemasnaturales.htm (em Espanhol)

e

http://www.ceadu.org.uy/sistemasnaturales_video.html (em Espanhol)

e

http://www.ceadu.org.uy/documentos/Sistemas%20naturales.PDF
("Autoconstrucción de sistemas de depuración de aguas cloacales" – por A. Latchinian; D. Ghislieri – em Espanhol)

Constructed wetlands bibliography. USDA National Agriculture Library. Acesso em 20.10.2014:

http://pubs.nal.usda.gov/constructed-wetlands-bibliography (em Inglês)

WWG – Waste Water Gardens. Acesso em 20.10.2014:

http://www.wastewatergardens.com/ (em Inglês)

e

http://www.wastewatergardens.com/2es_publicaciones.html (Publicações científicas - em Inglês)

e

http://www.wastewatergardens.com/2en_papers.html (Artigos científicos - em Inglês)

Constructed wetlands. USEPA – United States Environmental Protection Agency Literature Search. Acesso em 20.10.2014:

http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe?User=ANONYMOUS&Password=anonymous&Client=EPA&SearchBack=ZyActionL&SortMethod=h&SortMethod=-&MaximumDocuments=15&Display=hpfr&ImageQuality=r85g16%2Fr85g16%2Fx150y150g16%2Fi500&DefSeekPage=x&ZyAction=ZyActionS&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&Docs=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&File=&SeekPage=&Back=ZyActionL&BackDesc=Contents+page&MaximumPages=1&ZyEntry=0&TocRestrict=n&SearchMethod=2&Time=&Query=%22constructed+wetlands%22&FuzzyDegree=0&Index=2011+Thru+2015&Index=1995+Thru+1999&Index=1981+Thru+1985&Index=2006+Thru+2010&Index=1991+Thru+1994&Index=1976+Thru+1980&Index=2000+Thru+2005&Index=1986+Thru+1990&Index=Prior+to+1976&Index=Hardcopy+Publications&IndexPresets=entry (em Inglês)

Natural wetlands. Microbewiki. Acesso em 20.10.2014:

http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Wetlands (em Inglês)

Constructed wetlands. Environmental Probe. Acesso em 20.10.2014:

http://constructedwetlands.probeinternational.org/ (em Inglês)

e

http://constructedwetlands.probeinternational.org/photo-gallery/ (Galeria de fotos – em Inglês)

Humedal Artificial Centinela. Humedal Rio Cruces. (2014)

http://www.humedalriocruces.cl/humedal-centinela-2/ (em Espanhol)

e

http://www.humedalriocruces.cl/comienza-el-trabajo-para-disenar-el-humedal-artificial-centinela/ (em Espanhol)

e

http://www.humedalriocruces.cl/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=2428 ("Acuerdo para construcción del humedal Centinela por planta Valdívia" – em Espanhol)

e

http://www.humedalriocruces.cl/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=2436 ("Informe Humedal Centinela para Consejo Científico Social" por Dr. Wagner Gerber, 62 pp. - 2014 – em Espanhol)

e

http://www.humedalriocruces.cl/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=2432 ("Bibliografia humedales artificales" – em Espanhol)

e

http://www.australvaldivia.cl/impresa/2014/09/01/full/2/ ("Humedal Centinela prevendrá que se repita daño al santuário" – página 01" – Diário Austral, 01/09/2014 – em Espanhol)

e

http://www.australvaldivia.cl/impresa/2014/09/01/full/3/ ("Humedal Centinela prevendrá que se repita daño al santuário" – página 02" – Diário Austral, 01/09/2014 – em Espanhol)

Tecnología de humedales construídos. W. Gerber. Ecocell. Apresentação em PowerPoint: 94 slides. (2014)

http://www.humedalriocruces.cl/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=2234 (em Espanhol)

Potencial de remoção de nutrientes de efluente doméstico por plantas aquáticas flutuantes. M.C. Vieira. Dissertação de Mestrado. UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista. 107 pp. (2014)

http://tede.unoeste.br/tede/tde_arquivos/2/TDE-2014-04-04T115355Z-384/Publico/Marcela%20do%20Carmo%20Vieira.pdf

Compendium of sanitation systems and technologies. E. Tilley; L. Ulrich; C. Lüthi; P. Reymond; C. Zurbrügg. IWA – International Water Association & EAWAG – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. 180 pp. (2014)

http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium_e/index_EN (em Inglês)

e

http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/sesp/dl/compendio_sp.pdf (em Espanhol)

e

http://www.sswm.info/sites/default/files/ecomp_print/TILLEY%20et%20al%202014%20D-10%20Floating%20Plant%20Pond.pdf ("Floating plant pond" – em Inglês)

e

http://www.sswm.info/sites/default/files/ecomp_print/TILLEY%20et%20al%202014%20T-7%20Free-Water%20Surface%20Constructed%20Wetland.pdf ("Free water surface constructed wetland" – em Inglês)

e

http://www.sswm.info/sites/default/files/ecomp_print/TILLEY%20et%20al%202014%20T-8%20Horizontal%20Subsurface%20Flow%20Constructed%20Wetland.pdf ("Horizontal subsurface flow constructed wetland" – em Inglês)

e

http://www.sswm.info/sites/default/files/ecomp_print/TILLEY%20et%20al%202014%20T-9%20Vertical%20Flow%20Constructed%20Wetland.pdf ("Vertical flow constructed wetland" – em Inglês)

e

http://www.sswm.info/sites/default/files/ecomp_print/TILLEY%20et%20al%202014%20T-15%20Planted%20Drying%20Beds.pdf ("Planted drying beds" - em Inglês)

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

Utilização de plantas de bambu no tratamento de esgoto sanitário pelo sistema de alagados construídos. K.E. Quege; R.A. Almeida; F.E. Ucker. REGET – Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental 10: 2069 – 2080. (2013)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/download/7440/pdf

Constructed wetland for wastewater treatment and reuse: a case study of developing country. A. Mustafa. International Journal of Environmental Science and Development 4(1): 20 – 24. (2013)

http://www.ijesd.org/papers/296-CD0098.pdf (em Inglês)

Avaliação do uso de áreas construídas de Superfície Alagada Livre (SAL) para tratamento de efluentes superficiais de pátios de compostagem da indústria de celulose. S.T. Carvalho; I.C.R. Martins; P.S. Gonçalves; R.L. Siqueira; M.G. Sabará. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos 17(2): 131- 142. (2012)

http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/df2dc4c3e287826b7498ff8ce79adb33_ccc09398d2aba218c765eba689257ea7.pdf

Tratamento de efluentes superficiais de pátios de compostagem da indústria de celulose através do uso de áreas alagadas construídas de superfície alagada livre. S.T. Carvalho;

M.G. Sabará; J.M. Lana; L.S. Caux; L.C. Dalvi. 45º Congresso Internacional. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. VII CIADICYP. 10 pp. (2012)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/2012_Efluentes_compostagem.pdf

Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review. M.H. Sayadi; R. Kargar; M.R. Doosti; H. Salehi. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences 2(4): 204 – 222. (2012)

http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2012-2(4)/hybrid-constructed-wetlands-for-wastewater-treatment.pdf (em Inglês)

Análise da aplicação do tratamento de efluentes de águas residuais por leito de macrófitas. C.J. Ferreira; M.S.S. Pereira; P.F.M. Luís. 15 pp. (2012)

http://cvcarlosjorgeferreira.files.wordpress.com/2012/04/fito-etar-final2.pdf

FITO-ETAR`S - Uma Tecnologia Emergente. C.J. Ferreira. 44 pp. (2012)

http://cvcarlosjorgeferreira.files.wordpress.com/2012/04/trab-final-geoambiente1.pdf

Constructed wetlands. C. Akers. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2012)

http://rydberg.biology.colostate.edu/phytoremediation/2012/Constructed%20wetlands%20by%20Chris%20Akers.pdf (em Inglês)

Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (*wetlands* construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético. H.H.B. Andrade. Dissertação de Mestrado. UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 100 pp. (2012)

http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgec/banco-teses/dissertacoes/2012/DissertaoAndradeH.H.B..pdf

Avaliação da tratabilidade de efluentes de indústria metalúrgica em sistema piloto com plantas aquáticas emergentes. A.J. Golfetto; N.T. Schröder. Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 08 pp. (2012)

http://www.proamb.com.br/downloads/2p567r.pdf

Critical overview of water consumption in the pulp & paper industry. C. Foelkel. Seminário Kemira. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2011)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Water%20in%20Pulp%20and%20Paper%20Industry.pdf (em Inglês)

Jardins filtrantes. N. Ribeiro. Portal Arquitetônico. (2011)

http://portalarquitetonico.com.br/jardins-filtrantes/

Caracterização microbiológica de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes de fluxo vertical. G. Lohmann. Dissertação de Mestrado. UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 91 pp. (2011)

http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgec/banco-teses/dissertacoes/2011/PPGEC03.pdf

Avaliação da fitorremediação como alternativa de pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando macrófitas. E.C.S. Kurscheidt. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 156 pp. (2011)

http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/31740/R%20-%20D%20-%20ELAINE%20CRISTINA%20DE%20SOUZA%20KURSCHEIDT.pdf?sequence=1

Phytotechnologies. Phytotechnologies Workshop. Apresentação em PowerPoint: 42 slides. (2011)

http://www.epa.gov/osp/presentations/PhytoWBC11/ph_Rock1.pdf (em Inglês)

Phytotechnologies – An industrial perspective. W. Eifert. Phytotechnologies Workshop. Apresentação em PowerPoint: 63 slides. (2011)

http://www.epa.gov/osp/presentations/PhytoWBC11/ph_Eifert.pdf (em Inglês)

Overview of natural systems for wastewater treatment. A. Ludlow. Phytotechnologies Workshop. Apresentação em PowerPoint: 56 slides. (2011)

http://www.epa.gov/osp/presentations/PhytoWBC11/ph_Ludlow.pdf (em Inglês)

Treatment wetlands. A. Ludwig. University of Tennessee. Apresentação em PowerPoint: 97 slides. (2011)

http://fwf.ag.utk.edu/mgray/wfs560/Ludwig.pdf (em Inglês)

Constructed wetlands: an option for pulp and paper mill wastewater treatment. A.K. Choudhary; S. Kumar; C. Sharma. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 10 (10): 3023 – 3037. (2011)

http://www.researchgate.net/profile/Ashutosh_Choudhary2/publication/216448480_Constructed_wetlands_an_option_for_pulp_and_paper_mill_wastewater_treatment/links/0f042536bd747a8997ad2bdd?origin=publication_detail (em Inglês)

Application of pilot-scale-constructed wetland as tertiary treatment system of wastewater for phosphorus and nitrogen removal. A.C. Curia; J.C. Koppe; J.F.C.L. Costa; L.A. Féris; W.D. Gerber. Water Air & Soil Pollution 218(1-4): 131 – 143. (2011)

http://www.researchgate.net/publication/225249052_Application_of_Pilot-Scale-Constructed_Wetland_as_Tertiary_Treatment_System_of_Wastewater_for_Phosphorus_and_Nitrogen_Removal (em Inglês)

Constructed wetlands: an approach for wastewater treatment. A.K. Choudhary; S. Kumar; C. Sharma. Elixir Pollution 37: 3666 – 3672. (2011)

http://www.researchgate.net/profile/Ashutosh_Choudhary2/publication/215634574_Constructed_wetlands_an_approach_for_wastewater_treatment/links/0922b4f48786ec26bc000000 (em Inglês)

Chapter 2 - Wetland case studies. M. Scholz. Springer. 109 pp. (2011)

http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9781849964586-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1007447-p174021969 (em Inglês)

Química verde no Brasil: 2010 – 2030. F.C.R. Assunção; J.O.B. Carioca; M.F.L. Almeida; P.R. Seidl; D.A. Silva Filho; E.F. Medeiros. CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 436 pp. (2010)

http://www.cgee.org.br/publicacoes/quimica_verde.php

Tratamento de águas residuais através de leitos de macrófitas. A influência da vegetação. J.F. Mavioso. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. 84 pp. (2010)

https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142113594/Tratamento%20de%20%C3%A1guas%20residuais%20atrav%C3%A9s%20de%20Leitos%20de%20Macr

%C3%B3fitas%20-
%20A%20influ%C3%AAncia%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o.pdf

Avaliação do uso de áreas construídas de Superfície Alagada Livre (SAL) para tratamento de efluentes superficiais de pátios de compostagem da indústria de celulose. S.T. Carvalho. Dissertação de Mestrado. UNILESTE – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. 97 pp. (2010)

http://www.unilestemg.br/portal/mestrado/dissertacoes/dissertacao_022.pdf

Remoção de poluentes em sistema de alagados construídos de escoamento vertical cultivados com diferentes espécies vegetais. A.P. Sarmento. Dissertação de Mestrado. UFV - Universidade Federal de Viçosa. 83 pp. (2010)

http://www.gpqa.ufv.br/docs/mestrado/2010/Remocao%20de%20poluentes%20em%20sistemas%20alagados%20construidos%20de%20escoamento%20vertical%20cultivados%20com%20diferentes%20especies%20vegetais.PDF

Albany – Millersburg. Talking water gardens. The City of Albany. (2010)

http://twg.cityofalbany.net/about/ (Sobre o projeto – em Inglês)

e

http://twg.cityofalbany.net/ (Vídeo sobre o projeto – em Inglês)

e

http://water.epa.gov/grants_funding/cwsrf/upload/Albany-Millersburg-Case-Study.pdf (Estudo de caso em pdf – em Inglês)

e

http://twg.cityofalbany.net/wp-content/uploads/2010/08/TWG-11x17-final.pdf (Estudo de caso em pdf – em Inglês)

e

http://twg.cityofalbany.net/wp-content/uploads/2010/08/Talking-Water-Gardens-Technical-Profile-August-2010.pdf (Estudo de caso em pdf – em Inglês)

Constructed wetlands for wastewater treatment. J. Vymazal. Water 2: 530 – 549. (2010)

http://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530/pdf (em Inglês)

Banhados construídos como sistema terciário para reuso da água industrial em uma empresa metal-mecânica. A.C. Curia. Trabalho de Conclusão de Curso de Doutorado. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 195 pp. (2010)

http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28828/000768709.pdf?sequence=1

Sistema de tratamento de efluentes com Plantas Aquáticas Emergentes (PAE) para o processo de parboilização de arroz. G. Schulz. Dissertação de Mestrado Profissional. ULBRA - Universidade Luterana do Brasil. 72 pp. (2009)

http://www.biomapampa.com.br/download/mestrado%20guilherme%20schulz%20pae.pdf

Análise do potencial de uso das macrófitas aquáticas do sistema de áreas alagadas construídas da ETE da Comunidade de Serviços Emaús (Ubatuba/SP) como adubo orgânico. R.P. Antunes. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 87 pp. (2009)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04122009-111621/publico/dissertacaoRenataPinassiAntunes.pdf

Waste water in the pulp and paper industry. Today and in retrospect. C.H. Möbius. PTS Water and Environment Technology Symposium. 13 pp. (2009)

http://www.cm-consult.de/download/183_m2902.pdf (em Inglês)

Treatment wetlands. R.H. Kadlec; S.D. Wallace. CRC Press. 2ª Edição. 966 pp. (2009)

https://wiki.umn.edu/pub/Nieber/EcologicalEngineeringDesign/treatment_wetlands_-_kadlec_and_wallace_-_part_I.pdf (Parte 1 - em Inglês)

e

https://wiki.umn.edu/pub/Nieber/EcologicalEngineeringDesign/treatment_wetlands_-_kadlec_and_wallace_-_part_II.pdf (Parte 2 - em Inglês)

e

https://wiki.umn.edu/pub/Nieber/EcologicalEngineeringDesign/treatment_wetlands_-_kadlec_and_wallace_-_part_III.pdf (Parte 3 - em Inglês)

e

https://wiki.umn.edu/pub/Nieber/EcologicalEngineeringDesign/treatment_wetlands_-_kadlec_and_wallace_-_part_IV.pdf (Parte 4 - em Inglês)

The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. J. Vymazal. Ecological Engineering 35: 01 – 17. (2009)

http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CDcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FJan_Vymazal%2Fpublication%2F222411646_The_use_constructed_wetlands_with_horizontal_sub-

surface_flow_for_various_types_of_wastewater%2Flinks%2F0deec53029c54a6a51000000%3Forigin%3Dpublication_detail&ei=dpJGVP_ACMqPNtOugpgD&usg=AFQjCNEyoak-N1W-juYg6iPdwz3ONevsHg&sig2=sCY7Q5SkFIxMSKldtIzV7Q (em Inglês)

Opportunities and major constraints in agroforestry systems of Western U.P: A vital role of Star Paper Mills, Saharanpur (UP) – India. S.K. Sharma; S. Chauhan; S.K. Sharma; B. Kaur; I.D. Arya. Agriculture and Biology Journal of North America 1(3): 343 – 349. (2009)

http://scihub.org/ABJNA/PDF/2010/3/1-3-343-349.pdf (em Inglês)

Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: *wetlands*-construídos utilizando brita e bambu como suporte. L. Zanella. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 219 pp. (2008)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000443538

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/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/images/stories/Libro/capitulox.pdf (em Espanhol)

Ecoeficiência e produção mais limpa para a indústria de celulose e papel de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 09. 86 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT09_ecoeficiencia.pdf

Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na fabricação de celulose kraft de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 10. 92 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT10_ecoeficiencia.pdf

Constructed wetlands for wastewater treatment: a review. J. Vymazal. Taal2007 – 12th World Lake Conference. 16 pp. (2008)

http://www.moef.nic.in/sites/default/files/nlcp/H-%20Constructed%20Wetlands/H-1.pdf (em Inglês)

Pilot constructed treatment wetland for pulp and paper mill wastewater: performance, processes and implications for the Nzoia River, Kenya. M.A. Abira. Tese de Doutorado. Wageningen University. 160 pp. (2008)

http://edepot.wur.nl/1588 (em Inglês)

e

http://books.google.com.br/books?id=-P4xSv7j9S0C&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

Caracterização e avaliação da potencialidade de sistemas "*wetland*" para o tratamento do efluente do viveiro da empresa Votorantim Celulose e Papel. A.S. Oliveira; C.M.S. Vidal. VI Semana de Estudos de Engenharia Ambiental. 11 pp. (2008)

http://65.54.113.26/Publication/14296794/caracteriza-o-e-avalia-o-da-potencialidade-de-sistemas-wetland-para-o-tratamento-do-efluente-do

Tratamento de efluentes domésticos por leito cultivado. P. Fortes Neto. Primeiro SERHIDRO - Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. Apresentação em PowerPoint: 17 slides. (2007)

http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/131/1/Leito_de_raizes.pdf

Resumo sistema PAE – Plantas Aquáticas Emergentes. Ecocell. 02 pp. (2007)

http://www.ecocell.com.br/PDF/Resumo_Sistema_PAE_2007.pdf

Qualidade de águas superficiais e tratamento de águas residuárias por meio de zonas de raízes em propriedades de agricultores familiares. C. Maier. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 96 pp. (2007)

http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/Disserta%E7%E3ofinalclamarion.pdf

"*Wetlands* construídos" de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos. S.C. Silva. Tese de Doutorado. UnB – Universidade de Brasília. 231 pp. (2007)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2026/1/Tese_Selma%20Cristina.pdf

Treatment of pulp and paper mill effluent using constructed wetland. P.C. Prabu; C. Udayasoorian. EJEAFChe - Electronic Journal

of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 6: 1689 – 1701. (2007)

http://www.researchgate.net/publication/228636518_Treatment_of_pulp_and_paper_mill_effluent_using_constructed_wetland (em Inglês)

Meeting environmental challenges in the pulp and paper industry. One Florida paper mil is moving ahead with new industrial wastewater treatment. P. Hildebrandt. Forester Press. (2006)

http://www.foresterpress.com/ow_0607_meeting.html (em Inglês)

Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas. C.A.G. Cunha. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 174 pp. (2006)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04122006-232326/publico/CUNHA,C.A.G..pdf

Controle de qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos. E. Salati. FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. 19 pp. (2006)

http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf

Leachate treatment using vertical subsurface flow wetland systems – findings from two pilot studies. C.H. Pendleton; J.W.F. Morris; H. Goldemund; L.R. Rozema; M.S. Mallamo; L. Agricola. 10th International Waste Management & Landfill Symposium. (2005)

http://www.aqua-tt.com/projects/sardinia.pdf (em Inglês)

Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. M. Mazzola; D.M. Roston; M.A.A. Valentim. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9(2): 276 - 283. (2005)

http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v9n2/v9n2a20.pdf

Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em "wetlands" construídos. S.M.S.P. Costa. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 119 pp. (2004)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000333518

Tratamento de efluentes com plantas aquáticas emergentes. W. Gerber; M. Gerber; G. Schultz. Ecocell. 14 pp. (2003)

http://www.ecocell.com.br/PDF/PAE%202003.pdf

e

http://ebookbrowsee.net/pae-2003-pdf-d236504395

Do Pantanal, soluções simples para o esgoto. L. Sugimoto. Jornal da UNICAMP 214. (2003)

http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/maio2003/ju214pg12.html

Constructed treatment wetlands. USEPA – United States Environmental Protection Agency. 02 pp. (2003)

http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/30005UPS.PDF?Dockey=30005UPS.PDF (em Inglês)

Constructed wetlands: Passive systems for wastewater treatment. R. Lorion. National Network of Environmental Management Studies. U.S. Environmental Protection Agency. 29 pp. (2001)

http://epa.gov/tio/download/remed/constructed_wetlands.pdf (em Inglês)

Constructed wetlands. Treatment of municipal wastewaters. USEPA – United States Environmental Protection Agency. EPA/625/R-99/010. 166 pp. (2000)

http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/constructed-wetlands-design-manual.pdf (em Inglês)

e

http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/30004TBD.pdf (em Inglês)

Biotechnology for environmental protection in the pulp and paper industry. P. Bajpai; P.K. Bajpai; R. Kondo. Springer Berlin Heidelberg. 266 pp. (1999)

http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-60136-1 (em Inglês)

Constructed wetlands: a natural treatment alternative. Pipeline 9(3). 08 pp. (1998)

http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/pipline/PL_SU98.pdf (em Inglês)

e

http://www.wateronline.com/doc/constructed-wetlands-a-natural-treatment-alte-0002 (em Inglês)

Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. A technology assessment. USEPA – United States Environmental Protection Agency. EPA 832-R-93-008. 87 pp. (1993)

http://www.ceadu.org.uy/documentos/Manual%20EPA%20de%20Sistemas%20Naturales.pdf (em Inglês)

e

http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/sub.pdf (em Inglês)

Constructed wetlands for wastewater treatment and wildlife habitat. 17 case studies. USEPA – United States Environmental Protection Agency. EPA832-R-93-005. 219 pp. (1993)

http://water.epa.gov/type/wetlands/upload/constructed-wetlands.pdf (em Inglês)

e

http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/ConstructedWetlands-Complete.pdf (em Inglês)

Design principles for wetland treatment systems. D.E. Hammer; R.H. Kladec. USEPA – United States Environmental Protection Agency. EPA 600/2-83-926. 219 pp. (1983)

http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/20007H7G.PDF?Dockey=20007H7G.PDF (em Inglês)

Constructed wetlands to treat wastewater. Framework and schematic overview. WWG Information Sheet – About Constructed Wetlands. 26 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.wastewatergardens.com/pdf/WWG_AboutConstructedWetlands.pdf (em Inglês)

The use of constructed wetlands to treat effluent. M. Torczon. 12 pp. (SD = Sem referência de data)

http://home.eng.iastate.edu/~tge/ce421-521/mtorczon.pdf (em Inglês)

e

http://home.eng.iastate.edu/~tge/ce421-521/mtorczon-pres.pdf (Apresentação em PowerPoint: 15 slides – em Inglês)

A handbook of constructed wetlands. L. Davis. USDA - Natural Resources Conservation Service; US Environmental Protection

Agency-Region III; Pennsylvania Department of Environmental Resources. 53 pp. (SD = Sem referência de data)

http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/constructed-wetlands-handbook.pdf (em Inglês)

e

http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/1998_04_02_wetlands_pdf_hand.pdf (em Inglês)

e

http://www.ecrr.org/Portals/27/Handbook%20of%20Constructed%20Wetlands.pdf (em Inglês)

Phytoremediation and wetland for tertiary treatment of pulp & paper mill wastewater. W. Wirojanagud; N. Tantemsapya. 06 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.docin.com/p-539856491.html (em Inglês)

Leachate management. Constructed wetlands. Y. Ogata. National Institute for Environmental Studies. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (SD = Sem referência de data)

http://pt.slideshare.net/CRLAsia/ogata-01191 (em Inglês)

Imagens sobre "Constructed Wetlands". Google Images. Acesso em 08.11.2014:

https://www.google.com.br/search?q=%22constructed+wetlands%22&biw=1188&bih=501&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=3blgVKOODYWegwTtlIK4DQ&ved=0CBwQsAQ (em Inglês)

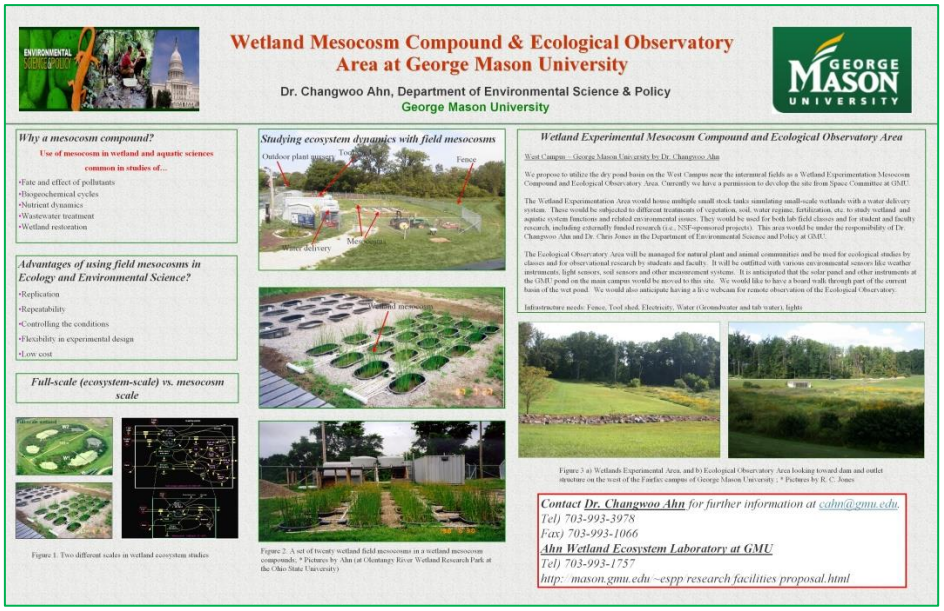
Imagens sobre banhados construídos como mesocosmos de biomonitoramento. Imagens Google. Acesso em 08.11.2014:

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=wetlands+mesocosms&oq=wetlands+mesocosms&gs_l=img.3...1332.7626.0.7838.18.10.0.8.8.0.234.1467.0j1j6.7.0....0...1ac.1.58.img..10.8.1474.nMqzr-FLhzU (em Inglês)

Imagens sobre "Banhados Construídos". Imagens Google. Acesso em 08.11.2014:

https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1188&bih=501&q=%22banhados+constru%C3%ADdos%22&oq=%22banhados+constru%C3%ADdos%22&gs_l=img.3...

1546.7262.0.7597.22.12.0.5.0.0.931.1334.0j1j1j6-
1.3.0....0...1ac.1.58.img..21.1.212.Xz3GPF4KxTs



Fonte: Changwoo Ahn - George Mason University
http://esp.gmu.edu/facilities/infrastructure/wetland-mesocosm-compound/
(em Inglês)

Espero que essa coletânea de conhecimentos variados sobre o uso de algumas fitotecnologias práticas e viáveis para fins ambientais possa ter sido de utilidade para vocês.

Um abraço a todos e muito obrigado

Celso Foelkel

==========