

# Aplicação de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais

Roberto Naime<sup>1</sup>, Ana Cristina Garcia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutor, Professor do Curso de Engenharia Industrial ICET/FEEVALE e do Departamento de Engenharia Civil, FENG/PUCRS  
E-mail: rnaime@feevale.br;

<sup>2</sup>Mestre, Professora do Curso de Engenharia Industrial ICET/FEEVALE  
E-mail: anagarcia@feevale.br

## Resumo

As crescentes exigências com relação ao lançamento de efluentes tratados estão viabilizando o estudo e a aplicação de diferentes tecnologias para aprimoramento dos sistemas de tratamento. As necessidades de remoção de macronutrientes como o Nitrogênio e o Fósforo tornam a utilização de enraizadas uma alternativa importante pela sua eficiência e baixo custo. Ainda existe carência de estudos com relação à aplicação no pós-tratamento de efluentes agro-industriais. Assim, o presente trabalho objetiva caracterizar a aplicação de enraizadas no pós-tratamento agro-industrial através de uma revisão bibliográfica. Dentro do conceito de agroindústria estão incluídos as fábricas de laticínios, conservas, matadouros, frigoríficos e curtumes. O mecanismo de ação das enraizadas consiste na interação simbiótica entre as plantas e os microrganismos presentes, que transformam os poluentes em nutrientes que são absorvidos pelas raízes das macrófitas. O pós-tratamento com enraizadas se mostra eficiente, após a remoção prévia do alto índice de compostos orgânicos.

## Palavras-chave

Enraizadas, pós-tratamento, efluentes.

# Abstract

The increasing exigencies in relation of the quality of effluent to be lanced are made the studies and application of different technologies for the improvement of treatise systems. The removal of mayor compounds like Nitrogen and Phosphorus made rooted a good alternative because your high efficiency and low costs. There are few studies about the application of rooted in the pos-treatment of agro-industries effluents. By this way, this work made the characterization of the use of rooted in the pos-treatment throughout bibliographic revision. Inner in the agro industries are lacticines, tinned food, slaughter-house, frigorific and tanning. The action of rooted is symbiosis interaction with the plants and micro-organisms that transform the pollutants in nourishing that are absorbed by the roots of the plants. The pos-treatment with rooted is efficient over the previous removal of high index of organic compounds.

## Key words

Rooted, pos-treatment, effluent.

# Introdução

A poluição do meio ambiente decorrente de um rápido crescimento econômico associado à exploração dos recursos naturais vem aumentando cada vez mais. A contaminação causada pelos processos agroindustriais na transformação da matéria-prima é um dos aspectos a ser considerado. As estratégias de sustentabilidade ambiental buscam compatibilizar as intervenções antrópicas com as características dos meios físico, biológico e sócio-econômico, minimizando os impactos ambientais. A própria Constituição Federal, em seu artigo 174, prevê que o Estado seja o regulador das atividades econômicas, promovendo o desenvolvimento equilibrado entre produção e conservação ambiental (Brasil, 1988). Este trabalho busca trazer uma contribuição sobre o tema da utilização das enraizadas no pós-tratamento de efluentes industriais de agroindústria, com ênfase na fabricação de laticínios, conservas, matadouros, frigoríficos e curtumes. A evolução dos sistemas de tratamento de efluentes agroindustriais disponibilizam a aplicação de tecnologias eficientes para a remoção da carga orgânica. No entanto, para a remoção de macronutrientes como Nitrogênio e Fósforo, ainda há necessidade de aprimorar alternativas de incremento e melhoria dos resultados. As enraizadas vêm sendo bastante utilizadas devido ao seu baixo custo e alta eficiência na remoção da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO5), Nitrogênio, Fósforo e coliformes fecais, que são utilizados como nutrientes, sendo absorvidos pelas raízes das macrófitas para formação de sua biomassa. São também utilizadas pelos fungos e bactérias do biofilme aderido ao substrato. Existem duas formas de nomenclaturas principais utilizadas para enraizadas: (1) enraizadas naturais, terras úmidas, zona de raízes, wetlands e alagados naturais ou (2) enraizadas construídas (constructed wetlands), zona de raízes e alagados artificiais.

As enraizadas construídas são classificadas de acordo com o fluxo do efluente. Podem ser superficiais ou subsuperficiais, quando o efluente escoar sob a superfície do substrato através das raízes das macrófitas, sendo utilizado como substrato areia, brita, cascalho, solo, cinzas de caldeiras, palha de cereais ou misturas variáveis destes componentes. Van Kaick (2002) cita que estes sistemas são longevos, exemplificando com um sistema considerado o mais antigo, introduzido há 120 anos na Suíça, funcionando sem interrupções. Chernicharo (2001) respalda as vantagens de baixo custo, fácil operação e alta eficiência das enraizadas na remoção de Nitrogênio, Fósforo e sólidos suspensos, e destaca como desvantagens a necessidade de terrenos grandes e a necessidade de substratos suscetíveis a entupimentos, demandando manejos mais sofisticados.

O Brasil tem uma carência enorme em saneamento básico, e grande potencial de produção agroindustrial e apresenta vantagens na utilização destas tecnologias, pois tem excelentes condições climáticas e ambiente favorável para a utilização de enraizadas, mas sempre lembrando que a eficiência que todos os sistemas podem proporcionar dependem diretamente do dimensionamento, execução e monitoramento.

# Revisão bibliográfica

Valentim (1999) divide os efluentes em “águas residuárias industriais” quando têm origem na indústria ou “esgotos sanitários” a partir da atividade humana. Dentro deste conceito, os efluentes agroindustriais se classificam na primeira origem.

A “Environmental Protection Agency” (EPA) revelou que cerca de 10% do total de efluentes tem origem industrial. Neste campo, a agroindústria é responsável por boa parte dos dejetos. A quantidade e a concentração dos despejos variam amplamente, dependendo dos processos de fabricação empregados e dos métodos de controle dos efluentes (Braile e Cavalcanti, 1993).

O Brasil é grande produtor e exportador de produtos agrícolas. A única forma de aumentar a renda dos produtores é a agregação de valor ao produto, através de processamentos agroindustriais. Este tipo de indústria produz grande quantidade de efluentes, com variáveis graus de contaminação.

A seguir é apresentada uma pequena análise dos efluentes produzidos pelos principais setores agroindustriais do país.

## Laticínios

A parcela representada por este tipo de agroindústria é importante, tornando-se necessária a obrigatoriedade do tratamento prévio de seus efluentes líquidos. Os despejos consistem em quantidades variáveis de leite diluído e materiais sólidos flutuantes (particularmente substâncias graxas de variadas fontes). A variedade de produtos é grande, abrangendo desde o processamento de leite ou queijo, até uma complexa variação de produtos, tais como requeijão, cremes, sorvetes, leite em pó e leite condensado. Na tabela 1, Braile e Cavalcanti (1993) compilam valores de DBO<sub>5</sub>, sólidos suspensos e pH para vários produtos da agroindústria de laticínios.

Tabela 1 - Valores médios para DBO, sólidos suspensos e pH de despejos de laticínios em função do produto desenvolvido (Braile e Cavalcanti, 1993).

Produto	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Sólidos suspensos (mg/l)	pH
Queijo	1.045	306	3,57
Manteiga	873	354	8,1
Leite condensado	1.291	-	7,8
Leite em pó	2.150	-	-
Secagem de soro	15	24	7,7
Leite	1.010	250	7,9

# Conservas

As características da industrialização de frutas e verduras variam amplamente com os despejos, podendo ser ácidos ou alcalinos.

Os despejos consistem em água proveniente da lavagem da matéria-prima, branqueamento, água derivada da produção de vapor para esterilização e resfriamento do tampão de selagem, água proveniente da limpeza dos equipamentos e despejos sólidos.

O tratamento e o destino final destas indústrias requerem projetos específicos, devido à variação dos caracteres, sazonalidade e outros fatores. Braile e Cavalcanti (1993) apresentam dados sobre alguns produtos (tabela 2).

Tabela 2 - Volumes e DBO<sub>5</sub> de algumas conservas (Braile e Cavalcanti, 1993).

Produtos	Volume(litros por cx n°2)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)
Aspargo	200	100
Pêssego	10.000	1.350
Ervilha	52-210	380-4700
Cenoura	1.830	1.110
Cereja	-	750

# Curtumes

Os despejos de curtumes contêm grande quantidade de material orgânico putrescível (proteínas, sangue e fibras musculares) e de substâncias tóxicas (sais de Cromo, Sulfeto de Sódio, cal livre e compostos arseniacais). Geram com facilidade gás sulfídrico, que pode tornar as águas receptoras impróprias para abastecimento público e usos industriais, agrícolas ou recreacionais. Os efluentes de curtumes constituem o material que necessita maiores cuidados para o tratamento, podendo ser classificados como um dos mais agressivos efluentes industriais existentes. Na Tabela 3 são apresentados alguns dados de características das águas residuárias de curtumes (Braile e Cavalcanti, 1993).

Tabela 3 - Características das águas residuárias de curtumes conforme as fases de processamento (Braile e Cavalcanti, 1993).

Origem	Sólidos Totais (mg/l)	Sólidos em suspensão (mg/ml)	DBO <sub>5</sub> (mg/ml)	pH
Remolho	15.000	1.490	1.200	6,6
Caleiro	26.000	7.160	2.770	11,6
Purga	4.410	110	410	8,2
Piquelagem	61.200	1.240	790	2,4
Curtimento ao tanino	18.400	1.290	5.500	5,0
Curtimento ao cromo	76.800	1.990	618	3,2
Tingimento e Engraxe	2.460	450	472	3,9

# Matadouros e frigoríficos

Os despejos de matadouros e frigoríficos possuem valores altos de DBO5, sólidos em suspensão, material flotável e graxas. Além disso, estes despejos apresentam temperaturas elevadas, contêm sangue, tecidos diversos e gorduras, sendo altamente putrescíveis, entrando em decomposição imediatamente após a sua formação, liberando odores tão desagradáveis quanto seu aspecto. Suas características são extremamente variáveis.

## Material e métodos

Apresenta-se um levantamento das principais características dos efluentes de agroindústrias e dos tratamentos usuais a que são submetidos com um estudo e dimensionamento das possibilidades representadas pelo uso adequado de enraizadas na complementação dos tratamentos de águas residuárias, particularmente na fase posterior aos tratamentos iniciais.

O enorme potencial de utilização das enraizadas nas condições apresentadas pelos meios, físico (climas) e biótico, encontrados nas condições brasileiras, é analisado e ressaltado.

## Desenvolvimento

Os tratamentos dos efluentes agroindustriais da indústria de laticínios privilegiam os métodos biológicos, que têm por função principal a remoção da matéria orgânica do efluente industrial através do metabolismo de oxidação e mecanismos de síntese das células. Este tratamento é normalmente usado, considerando a grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável que está presente na composição destes efluentes.

Os processos biológicos são caracterizados em função da forma do contato com a matéria orgânica com a microflora e a presença ou ausência de oxigênio molecular. As operações preliminares são o gradeamento, a equalização de vazões,

a remoção de óleos e gorduras, os tratamentos químicos e a sedimentação primária. Os processos aeróbios são universalmente usados para o tratamento de despejos de laticínios incluindo: sistemas de lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização facultativas ou aeradas, valos de oxidação, disposição sobre o terreno (irrigação por aspersão), digestão anaeróbia e exportação de despejos.

Nos efluentes da indústria de conservas, o tratamento físico é dado através de peneiras. A remoção dos materiais grosseiros em suspensão é essencial em toda indústria de conservas. O tratamento químico é feito em cargas por batelada ou em fluxo contínuo, e no tratamento biológico emprega-se a filtração biológica e recirculação.

Os efluentes de curtumes apresentam elevadas cargas de poluentes orgânicos e inorgânicos e exigem grandes investimentos. Os tratamentos preliminares envolvem gradeamento, mistura, homogeneização, retenção de gordura e lançamentos em vazão regularizada. O tratamento primário envolve o tratamento preliminar seguido de decantação e disposição do lodo por secagem ou aterro. O tratamento químico é realizado com a adição de reagentes, principalmente CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, e sais de Ferro para ajustar o pH e eliminar cal, sulfetos e matéria orgânica em dispersão coloidal. Pode ser acompanhado de aeração artificial para oxidar os sulfetos e sais de ferro. O tratamento biológico inclui lodos ativados, lagoas aeradas e filtros biológicos com meio filtrante de plástico.

Os tratamentos de efluentes de matadouros e frigoríficos incluem processos anaeróbios, sistemas de lagoas aeróbias, lodos ativados, filtros biológicos e discos biológicos rotativos.

Os processos de tratamento naturais têm sido cada vez mais estimulados, na medida em que protegem o meio ambiente e têm baixo custo operacional, com eficiência satisfatória (Ottová et al, 1997).

As enraizadas constituem uma importante dimensão dentro dos tratamentos naturais e são definidas por Reed (1995) como processos de tratamento de resíduos que utilizam apenas a força gravitacional, os micro-organismos, as plantas e os animais. De acordo com Valentim (1999), podem ser incluídas bombas hidráulicas e tubulações, mas o tratamento não pode depender de fontes de energia externas para sua manutenção.

As enraizadas podem ser definidas como sistemas construídos para utilizar plantas aquáticas fixadas em substratos (areia, solo ou cascalho), de forma natural e sob condições ambientais adequadas, estimulando a formação de microrganismos com a finalidade de tratar efluentes por meios biológicos, químicos e físicos (Chernicharo, 2001).

Segundo Mansor (1997), tanto as enraizadas construídas como as enraizadas naturais estão incluídas na categoria de sistemas naturais de tratamento de esgotos, mas é importante ressaltar que enraizadas naturais já são protegidas por legislação, em muitos países, atitude que ainda não ocorre com as enraizadas construídas.

# Enraizadas naturais

Ocorrem em áreas de solos hidromórficos, permanentemente saturados ou inundados por águas superficiais e subterrâneas, onde vegetam várias espécies de plantas que são diretamente dependentes da hidrologia, do meio que as suporta e dos nutrientes característicos da região onde se encontram (Valentim, 1999).

Para Kadlec e Knight (1996) e Kadlec (1999), as enraizadas são plantas macrófitas que ocorrem em áreas de terras úmidas, em uma parte ou em todo ano. Historicamente são associadas com áreas de inundação, pântanos, brejos e áreas afins.

O esquema da Figura 1 descreve o ciclo das enraizadas naturais (Campos, 1999).

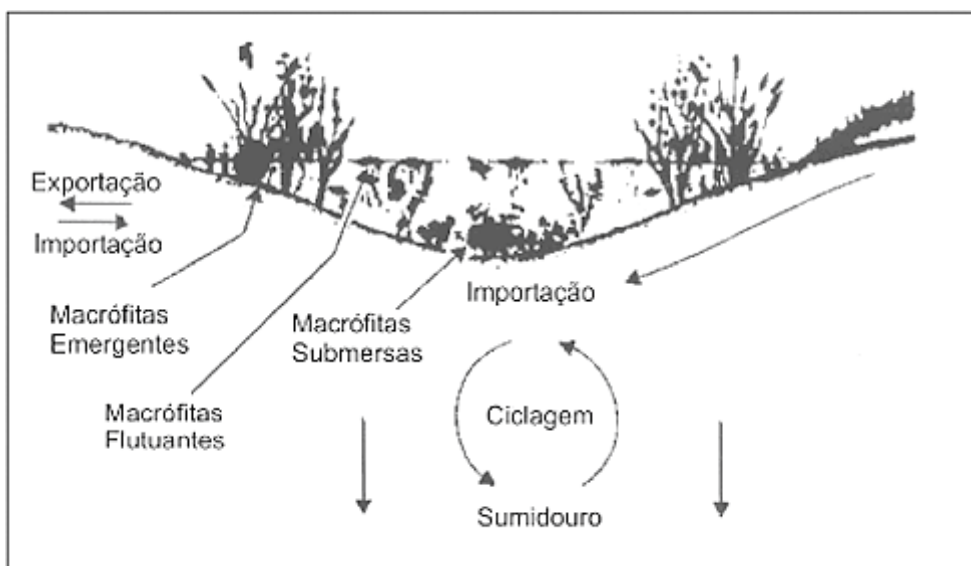


Figura 1 - Ciclo de uma enraizada natural (Campos, 1999).

# Enraizadas construídas

As enraizadas construídas são também conhecidas como “constructed wetlands”, alagados construídos, zona de raízes e leitos cultivados.

Os estudos pioneiros no Brasil foram resultantes de observações em planícies inundadas da Amazônia. Os primeiros registros remontam a Salati (1982); posteriormente foram feitos desenvolvimentos visando aumentar a eficiência e reduzir os custos da utilização de enraizadas, destacando-se a Companhia de Saúde Básica do Estado de São Paulo (SABESP), a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e a Companhia Elétrica do Estado de São Paulo (CESP).



Salati (1999) cita os trabalhos do Instituto de Ecologia Aplicada, que desenvolveu um sistema de depuração da água com base na capacidade depuradora dos solos.

A tecnologia utilizada nas enraizadas é totalmente diferente dos sistemas que preconizam a utilização dos aguapés (*Eichornia* spp), em lagoas de tratamento. A utilização dos aguapés nunca alcançou bons resultados devido à formação de biomassa em excesso (Gerber, 2002).

Os componentes fundamentais das enraizadas são as macrófitas aquáticas, o substrato e os biofilmes de bactérias, que são responsáveis pelos mecanismos de remoção de poluentes do sistema.

As estações de tratamento com a utilização de enraizadas são sistemas físico-biológicos idealizados segundo a lógica da utilização dos biofiltros constituídos por raízes. Nestes sistemas, o esgoto é lançado por meio de uma rede de tubulações perfuradas, instaladas logo abaixo da zona de raízes. Esta área plantada deve ser dimensionada de acordo com a demanda de esgotos prevista para a situação (Van Kaick, 2002). As enraizadas podem ser consideradas filtros biológicos em que micro-organismos aeróbios e anaeróbios, fixados à superfície do substrato e em associação com a rizosfera e outras partes submersas da planta, atuam produzindo reações de purificação da água, criando um ambiente favorável ao desenvolvimento da vida.

Este sistema tem se mostrado viável sob o enfoque tecnológico e econômico, principalmente para pequenas comunidades em áreas isoladas, devido ao ser baixo custo de implantação, e facilidades de operação e manutenção.

A Figura 2 mostra o esquema de uma enraizada construída (Campos, 1999).

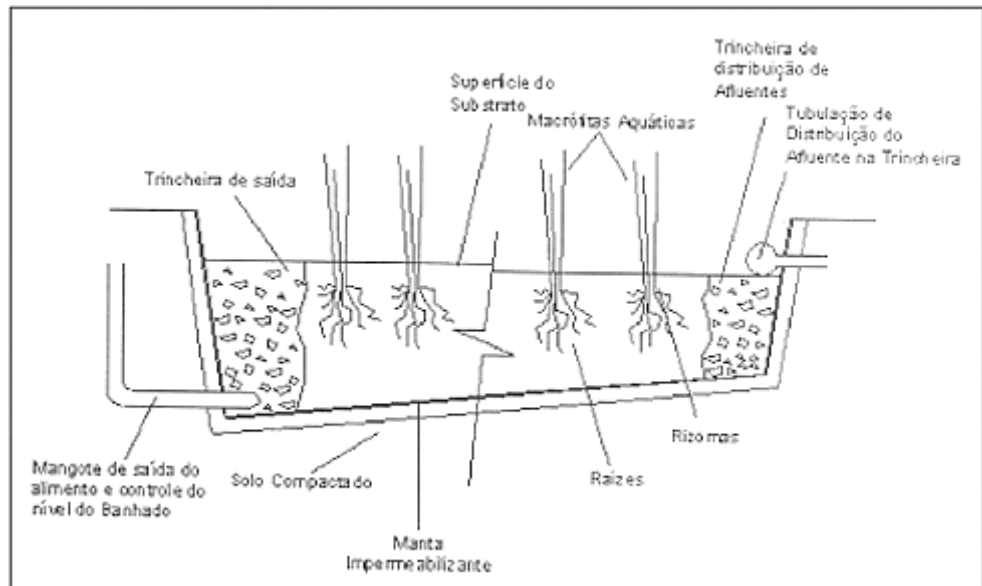


Figura 2 - Esquema construtivo e operacional de uma enraizada construída (Campos, 1999).

As enraizadas construídas podem ter fluxo superficial, mas neste caso a desvantagem é a proliferação de insetos e a produção de mau cheiro. É recomendável apenas em tratamento terciário. A água flui a profundidades entre 0,1 e 0,3m, em canais com algum tipo de barreira sub-superficial. Este tipo de sistema é muito utilizado no tratamento de grandes volumes nos Estados Unidos (Wood, 1995 e Vymazal, 1998, citados por Valentim, 1999). Um esquema das enraizadas construídas é apresentado na Figura 3 (Valentim, 1999).

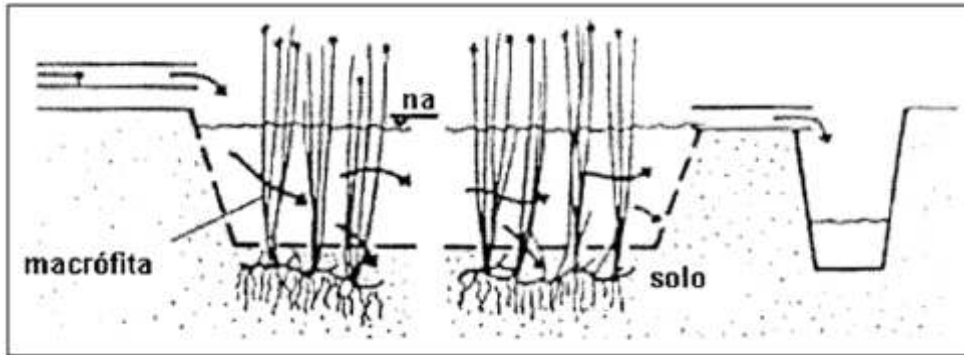


Figura 3 - Enraizadas construídas com fluxo superficial (Valentim, 1999).

As enraizadas construídas com fluxo sub-superficial, essencialmente, são filtros lentos horizontais, preenchidos com substratos (brita, areia, palha de arroz e saibro), que servem como meio de suporte para o desenvolvimento das macrófitas. A água a ser tratada escoar por gravidade, horizontalmente ou verticalmente, através do substrato do leito, o que evita a proliferação de insetos e produção de mau cheiro, permitindo a sua localização próxima a pessoas ou animais. O fundo do leito possui uma pequena inclinação, em geral 1%. Este processo de fluxo sub-superficial é muito utilizado no tratamento de efluentes de pequenas comunidades. A Figura 4 apresenta o esquema de enraizadas com fluxo sub-superficial (Valentim, 1999).

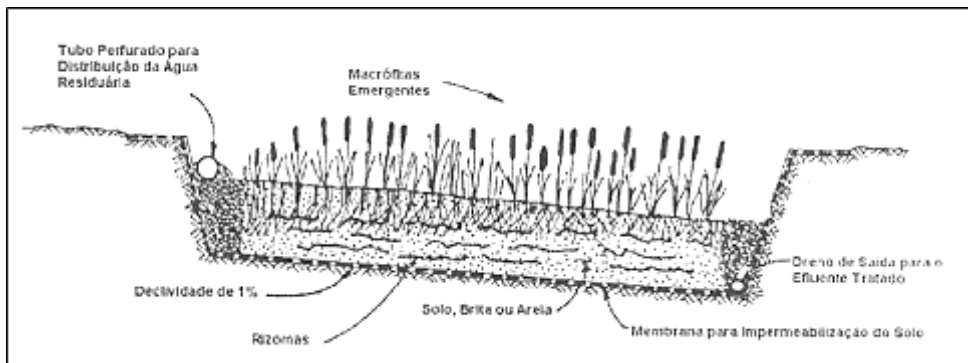


Figura 4. Enraizadas construídas com fluxo sub-superficial (Valentim, 1999).

A viabilidade de implantação de sistemas com fluxo sub-superficial depende das condições do local e do clima. Cada projeto deve estar adequadamente dimensionado em função das demandas e das condições locais. Devem ser avaliados a profundidade dos poços, os problemas de drenagem e inundação e a qualidade e uso das águas subterrâneas. A caracterização dos solos deve incluir textura, estrutura, pH, capacidade de troca de cátions, percentagem de Sódio trocável, nível basal de metas, condutividade hidráulica, nutrientes, infiltração, permeabilidade e porosidade. Também devem ser verificados a necessidade de implantação de zonas tampão, aspectos legais e aspectos estéticos e de geração potencial de aerossóis e odores.

O regime hidráulico deve ser dimensionado de acordo com a lei de Darcy ( $Q=Ks.A.S.$ , onde “Q” é a vazão, “Ks” a condutividade hidráulica, “A” é a área da secção transversal e “S” o gradiente hidráulico de vazão h/l). Isolando o termo A da equação, é possível dimensionar a área da secção transversal ao leito da terra saturada, perpendicular à direção de fluxo, em m<sup>2</sup>. A velocidade de fluxo do líquido deve ser inferior a 8,6 m/dia, para evitar a ruptura da estrutura meio/rizoma/raízes e assegurar um tempo de contato suficiente entre o líquido e o biofilme para tratamento.

A profundidade de projeto para o leito varia de acordo com a macrófita aquática usada. Limites conhecidos são de 76 cm para *Scirpus* spp e 30 cm para *Typha* spp. Assim, a escolha das espécies de macrófitas tem um papel decisivo, influenciando o custo final. Sendo escolhidas mais de uma espécie, a profundidade final deverá assumir o maior limite. (Campos, 1999).

A largura do leito deve ser dimensionada de forma que a vazão do projeto seja contida no perfil do leito e não apareça como fluxo superficial abaixo do ponto de aplicação no gradiente.

Outros fatores que devem ser considerados são a impermeabilização, as estruturas de entrada e saída de efluentes (Fig. 5) e as macrófitas (tabela 4).

Tabela 4 - Espécies de macrófitas testadas para o uso em processos de tratamento de águas residuárias (Valentim, 1999).

<b>Plantas emergentes</b>	<b>Plantas Submergentes</b>	<b>Plantas flutuantes</b>
<i>Scirpus</i> spp.	<i>Elodea muttallii</i>	<i>Lenna</i> spp.
<i>Phragmites australis</i>	<i>Egeria densa</i>	<i>Spirodela</i> spp.
<i>Typha</i> spp.	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
<i>Eleocharis</i> spp.		<i>Wolffia arrhiza</i>
<i>Juncus</i> spp.		<i>Azolla caroliniana</i>

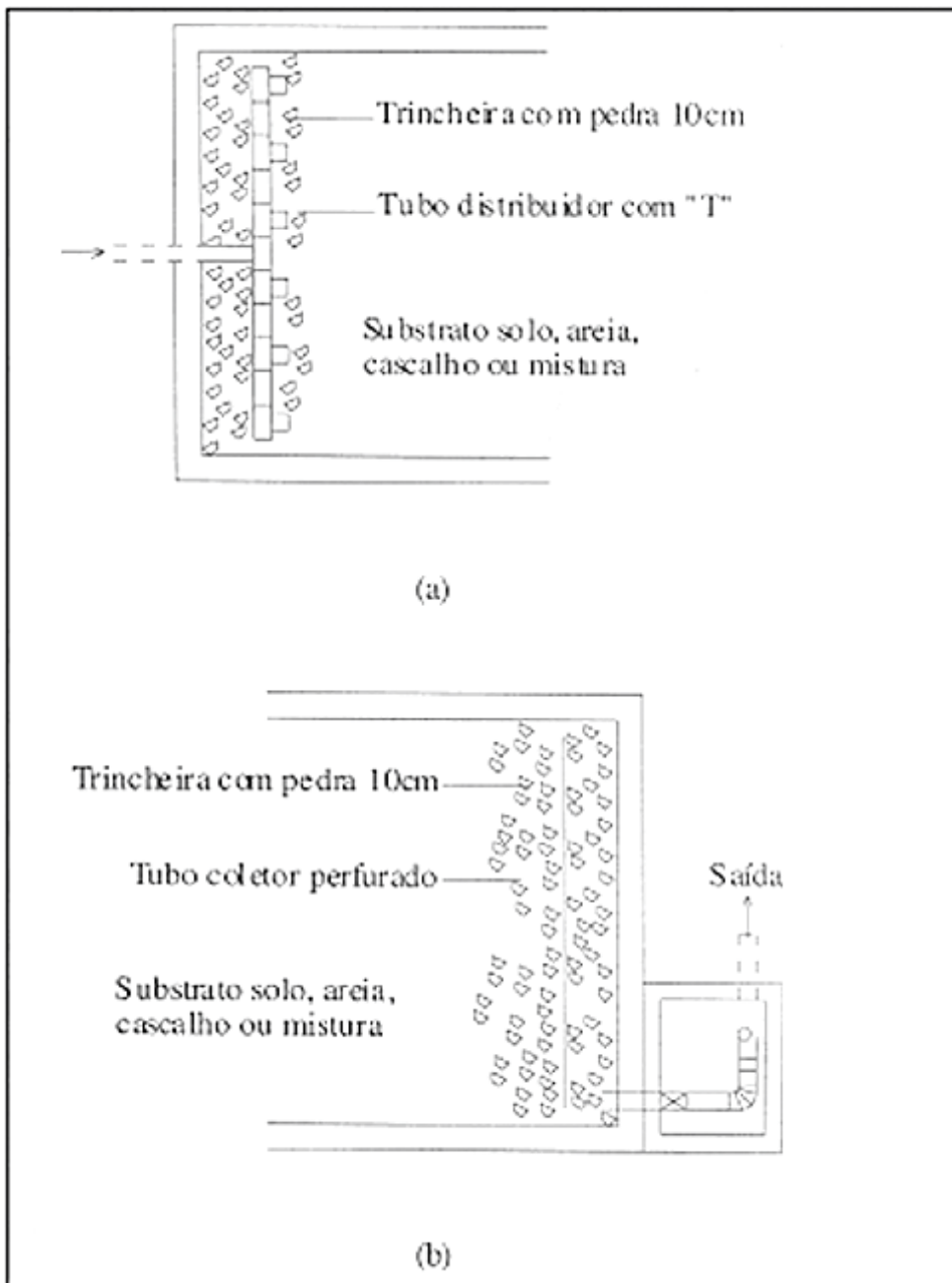


Figura 5 - Vista em planta da trincheira de entrada (a), sistema de distribuição (tubulação de Cloreto de Polivinila, PVC) e (b) sistema de saída (Campos, 1999).

A densidade inicial dessas plântulas ou cortes é de 1 rizoma/plântula por m<sup>2</sup>. Densidades menores pressupõem um tempo para que as macrófitas ocupem todo o espaço disponível e criem uma massa subterrânea considerável.

Nas enraizadas podem ser observadas três zonas distintas. Na rizosfera, ao redor das raízes e dos rizomas das plantas, é formada uma zona aeróbia. Nesta zona existe uma intensa vida microbiológica. Esta é favorecida pela capacidade de transporte do oxigênio atmosférico pelas plantas emergentes (folhas, caules e hastes) até a zona de raízes, onde ocorre a oxidação da matéria orgânica pelas bactérias heterotróficas e a oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito e a nitrato pelas bactérias autotróficas, com a volatilização da amônia. A remoção de nitrogênio do efluente oscila entre 16 e 75%.

Na zona anóxica, ocorre a transformação do nitrato em nitrito e posteriormente em Nitrogênio gasoso, pelas bactérias heterotróficas, com a oxidação da matéria orgânica, utilizando o nitrato como receptor de elétrons. Na zona anaeróbica, os índices de remoção de carga orgânica são alcançados devido à alta capacidade de decomposição das bactérias anaeróbicas.

A remoção de Fósforo é obtida através de remoção pelas plantas, imobilização microbiana, retenção pelo subsolo e precipitação na coluna de água. Diferentemente do Nitrogênio e do Carbono, o Fósforo não pode ser perdido nas enraizadas por processos metabólicos, não havendo perdas pela forma gasosa. Desta forma, o Fósforo tende a se acumular no sistema. A quantidade de Fósforo retido ou liberado no solo depende da concentração inicial e dos processos bioquímicos funcionais do ambiente como absorção, precipitação, mineralização de compostos orgânicos e difusão. O Fósforo armazenado nos detritos das plantas é rapidamente transferido para a coluna de água durante a decomposição. De qualquer forma, o fósforo que não fica com a biomassa vegetal e que não está na coluna de água fica retido no solo das wetlands por longo tempo.

Com a liberação de Oxigênio pelas raízes na água, ocorre oxidação das substâncias. Mas o processo mais importante que suporta a base científica do uso das enraizadas é a simbiose entre as plantas e os microrganismos presentes. Como na rizosfera ocorre uma justaposição entre uma região aeróbia e outra anóxica, com a presença de nitrato ocorre o desenvolvimento de várias bactérias que executam o processo de nitrificação-desnitrificação (Valentim, 1999).

Autores como Seitz (1995) destacam que, para formar as enraizadas, os juncos do gênero *Phragmites* são os mais utilizados. Mas outros pesquisadores, como Weiss (1994), destacam que as plantas utilizadas sempre devem ter aerênquimas bem desenvolvidos no caule e raízes em forma de cabeleira. E preferencialmente devem ser nativas da região (Seitz, 1995, Stegmann, 1995, citados por Van Kaick, 2002).

Também é fundamental a capacidade de transferência de Oxigênio, que ocorre na zona aeróbica, conforme mostra a Figura 6 (Valentim, 1999).

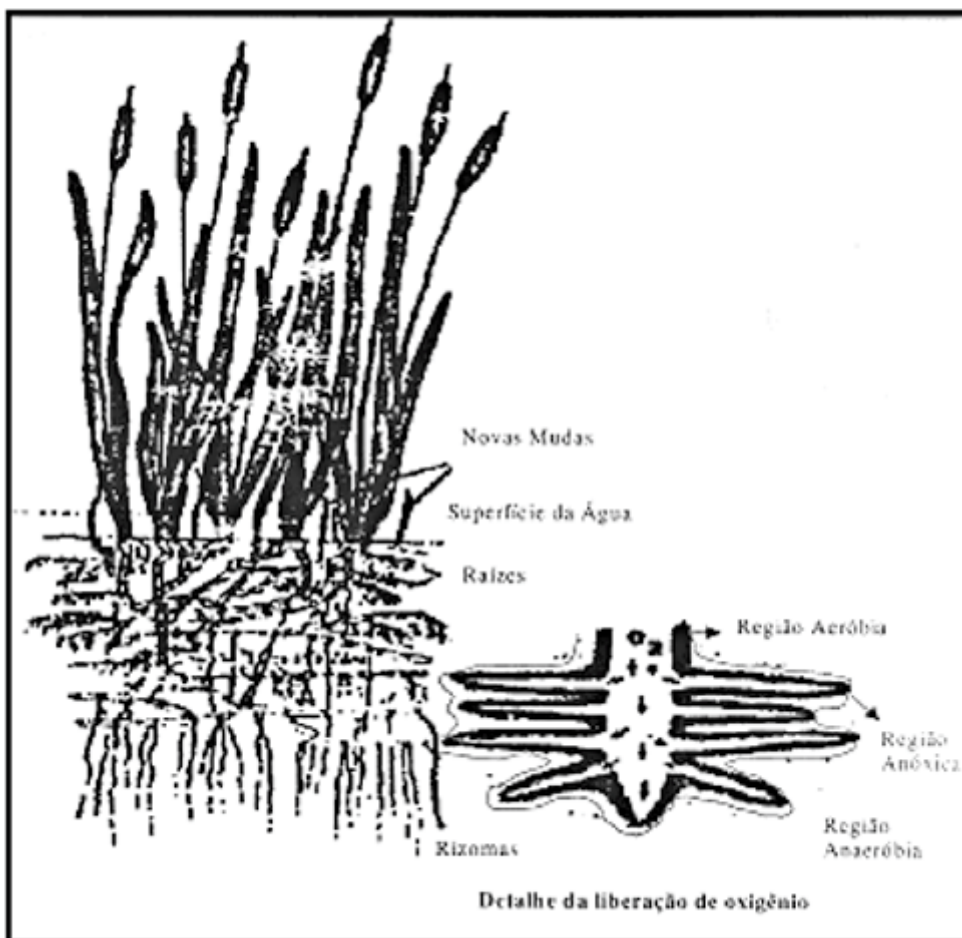


Figura 6 - Transferência de Oxigênio para o substrato pela ação de macrófitas aquáticas (Valentim, 1999).

Nas raízes das plantas conhecidas como enraizadas, estão fixadas as bactérias que recebem Oxigênio e Nitrogênio conduzidos pelos aerênquimas do caule até as raízes. Em troca, as bactérias decompõem a matéria orgânica, que é transformada em nutrientes que são fornecidos para a planta.

Nos sistemas convencionais de tratamento de esgoto, o processo de decomposição da matéria orgânica libera gases que produzem mau cheiro. No caso das enraizadas, o mau cheiro é evitado, porque as próprias raízes funcionam como filtro, eliminando os maus odores.

O Oxigênio possui uma ação direta na eliminação dos germes ou bactérias causadoras de doenças, eliminando facilmente bactérias patogênicas e coliformes fecais. A tabela 5 apresenta uma sinopse das aplicações, conceitos e usos das enraizadas em tratamento de efluentes (Valentim, 1999).

*Tabela 5 - Sinopse de aplicações, conceitos e usos das enraizadas em tratamentos de efluentes (Valentim, 1999).*

<b>Aplicações</b>	<b>Conceitos e Usos</b>
Tratamento primário e secundário de águas residuárias	Promove completo tratamento de água com remoção de nutrientes. Indicado em pequenas comunidades, hotéis e casas isoladas. Tratamento de dejetos de confinamento (gado leiteiro, suinocultura e gado de corte).
Polimento terciário do efluente	Tempo de detenção elevado, principalmente na remoção de fósforo. Usado em indústrias de processamento de alimentos, abatedouros e também em indústrias de papel e petroquímica.
Desinfecção	Determina as condições de remoção de microrganismos patogênicos da água.
Manejo do escoamento superficial, rural e urbano	Identificação de estratégias e locais adequados para esta finalidade. Utilização em microbacias.
Manejo de materiais tóxicos	Modelagem de processos em que metais e organismos possam ser imobilizados e transformados. Em tratamentos de mineração e chorume de aterros sanitários.
Manejo do Lodo	Absorção de metais pesados e auxílio na secagem de lodo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).
Produção de Biomassa	Identificação e desenvolvimento de produtos para usos.
Águas subterrâneas	Ação para controlar a recarga e descontaminar aquíferos.
Pré-tratamento e limpeza da água para reutilização	Determinação de níveis apropriados de qualidade para reutilização em indústrias, processamento de alimentos e confinamentos (gado e suinocultura).

## Conclusões

Os sistemas de tratamento de efluentes por enraizadas, em várias situações agroindustriais, trazem resultados favoráveis.

A perspectiva de disseminação na implantação do sistema no meio agroindustrial traz aspectos favoráveis quanto à melhoria das condições de saneamento de todo meio rural, uma visão muito importante num país basicamente agrícola.

Os resultados das reduções de poluentes, em testes de agroindústrias, indicam que a Demanda Química de Oxigênio (DBO5) se reduz entre 99 e 99,5%; a Demanda Química de Oxigênio (DQO) sofre reduções entre 99,5 e 99,7%, o Nitrogênio se reduz entre 79% e 89% e o Fósforo entre 54% e 72%.

Para melhorar a renda do setor, a atividade agrícola (um dos pilares da economia, tanto de mercado interno quanto de exportação do Brasil), deve agregar valor aos produtos, através da industrialização.

Neste sentido, torna-se necessária a realização de um esforço para a divulgação e o incremento da utilização destas técnicas no país, como forma de atingir patamares de maior desenvolvimento em condições de sustentabilidade e proteção sanitária e ambiental adequadas.

# Referências bibliográficas

- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. São Paulo: Cetesb, 1993.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- CAMPOS, J. R. et al. Tratamento de Esgoto Sanitário por Processo Anaeróbico e Decomposição controlada no solo. In: Terras Úmidas Construídas de Fluxo Subsuperficial. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 15, p 409-435.
- CHERNICHARO, C. A. L. Pós-tratamento de Efluentes de reatores anaeróbios. In: Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Sistemas de Aplicação no Solo. Belo Horizonte: SEGRAC, 2001.
- GERBER, M. D. Tratabilidade de Efluentes de Parbolização de Arroz em Sistema de Plantas Aquáticas Emergentes. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. 2002.
- KADLEC, R. H. Chemical, physical and biological cycles in treatment wetlands. Water Science Technology. v. 40, n.3, p.37-44, 1999.
- KLADDEC, R. H.; KNIGHT, R. L. Treatments Wetlands. In: Wetland Design: Subsurface-flow Wetlands. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. cap.21, p 642-643.
- MANSOR, M. T. C. Uso de Leito de Macrófitas no Tratamento de Águas Residuárias. Dissertação. 1998. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1998.
- OTTOVÁ, V.; BALCAROVÁ, J.; VYMAZAL, J. Microbial characteristics of constructed wetlands. Water Science Technology. v 35, n. 5, p.117-123, 1997.
- REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. Natural Systems for Waste Management and Treatment. 2 ed. New York: McGrawHill, 1995. 434p.
- SALATI, E. J.; SALATI, E.; SALATI, E. Wetland projects developed in Brazil. Water Science Technology. v 40, n. 3, p. 19-25, 1999.
- VALENTIM, M. A. A. Uso de Leitões Cultivados no Tratamento de Efluentes de Tanque Séptico Modificado. Dissertação. 1999 (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.
- VAN KAICK, T. S. Estação de Tratamento de Esgoto por Meio de Zona de Raízes: Uma Proposta de Tecnologia Apropriada Para Saneamento Básico no Litoral do Paraná. Dissertação. 2002. Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR, 2002.