

Sistemas de tratamento de efluentes em aglomerados urbanos por leitos de macrófitas emergentes



António Machado Relvão

Coimbra
1999

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO DA REGIÃO CENTRO
MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO, DO PLANEAMENTO E DA ADMINISTRAÇÃO DO TERRITÓRIO

SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM AGLOMERADOS URBANOS POR LEITOS DE MACRÓFITAS EMERGENTES



COORDENAÇÃO DE:
ANTÓNIO MACHADO RELVÃO

COIMBRA
1999

FICHA TÉCNICA

TÍTULO	Sistemas de tratamento de efluentes em aglomerados urbanos por leitos de macrófitas emergentes
COORDENAÇÃO	António Machado Relvão
AUTORES	António Machado Relvão, Eugénio José Santiago e Nelson M. L. Pereira da Silva
MOTIVO DA CAPA	ETAR do Cagido (fotografia de António M. Relvão)
SÉRIE	Estudos Regionais 3
COMPOSIÇÃO	Pedro Bandeira
IMPRESSÃO, EDIÇÃO	
E DISTRIBUIÇÃO	CCRC - Comissão de Coordenação da Região Centro
TIRAGEM	1.000 Exemplares
ISBN	972-569-104-0
DEP. LEGAL N°	139614/99
JUNHO DE 1999	

ÍNDICE

CAPÍTULO I

LEITOS DE MACRÓFITAS: UMA SOLUÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS EM PEQUENOS AGLOMERADOS	5
1 - INTRODUÇÃO	7
2 - SISTEMAS DE BAIXA TECNOLOGIA	8
Referências e notas	12
3 - TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LEITOS DE MACRÓFITAS	
- Uma abordagem teórica	13
3.1 - Apresentação	13
3.2 - O meio	14
3.3 - As plantas	16
3.4 - Remoção da poluição	18
3.5 - Dimensionamento	19
3.6 - Rendimentos esperados	22
4 - CONCLUSÕES	23
Referências e notas	25

CAPÍTULO II

APLICAÇÃO PRÁTICA - UTILIZAÇÃO DE LEITOS DE MACRÓFITAS EM AGLOMERADOS DE 300 E DE 700 HABITANTES	27
1 - SOLUÇÃO I:	
FOSSA SÉPTICAS SEGUIDA DE LAGOA DE MACRÓFITAS	31
1.1 - Campo de aplicação	31
1.2 - Dimensionamento	31

2 - SOLUÇÃO II	
OBRA DE ENTRADA - TANQUE IMHOFF - LAGOA DE MACRÓFITAS	
- LEITOS DE SECAGEM	34
2.1 - Campo de aplicação	34
2.2 - Dimensionamento	34
3 - PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO	36
4 - PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO	38
4.1 - Lagoa de macrófitas	38
4.2 - Fossas sépticas	39
4.3 - Tanques Imhoff	39

CAPÍTULO III

LEITOS DE MACRÓFITAS EMERGENTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES	
- CONTROLO DO FUNCIONAMENTO	41
1 - INTRODUÇÃO	43
2 - DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ESTUDADOS	45
3 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS LEITOS DE MACRÓFITAS ESTUDADOS	47
4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO CONTROLO EFECTUADO	48
5 - CONCLUSÕES	51
Referências e notas	52
BIBLIOGRAFIA	53
ANEXOS	55

LEITOS DE MACRÓFITAS

**Uma solução para o tratamento
de águas residuais domésticas
em pequenos aglomerados**

António Machado Relvão

Engenheiro Civil

Assessor Principal da Comissão de Coordenação da Região Centro

ERRATA

Pág.	Linha	Onde se lê	Deve ler-se
20	21	$V = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{K_1} \cdot n$	$V = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{K_1 \cdot n}$
22	10	da espessura e porosidade	com a espessura e porosidade
35	12	Eficiência de tratamento na fossa séptica	Eficiência de tratamento no tanque Imhoff
35	17	Espessura do leito e)60 .60	Espessura do leito e)70 .70
35	19	Nº de lagoas adoptadas ... 1 2	Nº de lagoas adoptadas ... 1 1
36	3	a topografia local	à topografia do local
39	24	serem retiradas	ser retiradas

1 INTRODUÇÃO

Num País como o nosso em que há um grande número de povoações com pequena dimensão, assume uma importância significativa a definição de adequados sistemas de tratamento de águas residuais de baixa tecnologia e custos moderados, não só em termos de primeiro investimento mas sobretudo em questões de exploração.

Tem-se constatado que na drenagem e especialmente no tratamento das águas residuais destes pequenos aglomerados urbanos⁽¹⁾, não têm sido, de um modo geral, adoptados pelos projectistas as melhores soluções técnicas e económicas.

Com frequência se adoptam soluções claramente anti-económicas na definição das áreas a drenar, na escolha dos diâmetros dos colectores e na selecção dos sistemas de tratamento de efluentes.

Não é, no entanto, objectivo deste trabalho, a abordagem das questões relativas às redes de drenagem, onde se deverão adoptar os critérios definidos no Decreto Regulamentar n° 23/95 de 23 de Agosto - Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

Tentaremos antes, o fornecimento de novos métodos para o tratamento das águas residuais que se adaptem às dimensões destes pequenos aglomerados e, constituam **soluções ambientalmente correctas**, de custos moderados e exploração simples e económica, cumprindo dentro do possível as exigências do artigo 191° do atrás citado regulamento⁽²⁾, do Decreto-Lei n° 236/98 de 1 de Agosto de 1998 e do artigo 8° do Decreto-Lei n° 152/97 de 19 de Junho.

2 SISTEMAS DE BAIXA TECNOLOGIA

No tratamento das águas residuais urbanas das nossas aldeias, tem sido uma constante o recurso a fossas sépticas como órgãos de tratamento primário, normalmente seguidos por órgãos complementares, tal como definidas na publicação “Depuração de esgotos domésticos de Pequenos Aglomerados Populacionais e Habitações Isoladas” [Eng^o A. Queirós de Morais].

Não obstante este manual ter já alguns anos, e, independentemente da grande evolução verificada nas tecnologias de tratamento de águas residuais urbanas, consideramos que se poderão continuar a usar muitas das técnicas nele propostas, nomeadamente o tratamento primário de efluentes com recurso a fossas sépticas.

Haverá contudo, que utilizar correctamente os ensinamentos do Eng^o Queirós de Morais quanto às fossas sépticas⁽³⁾ e utilizar novas tecnologias para complementar o tratamento das águas residuais pré-tratadas⁽⁴⁾, em alternativa às ali propostas.

Com efeito, são utilizados com frequência poços absorventes e trincheiras de infiltração em locais de nível freático elevado (pelo menos no Inverno), provocando-se, com isso, a poluição e inquinação das reservas subterrâneas de águas locais, desrespeitando os n^{os} 3 e 4 do art.º 191 do Regulamento.

A experiência demonstra por outro lado que, no que se refere aos efluentes de aglomerados urbanos, são reduzidos os locais onde este tipo de órgãos complementares podem ser usados sem provocarem problemas ambientais. Importa, por isso, encontrar alternativas mais eficazes na protecção dos aquíferos e na ultimação do tratamento dos efluentes das fossas, sem prejuízo de serem soluções de baixo custo e de exploração igualmente simples.

A utilização de fossas sépticas e, tendo em vista facilitar a gestão das lamas, deverá ficar reservada a aglomerados de pequena dimensão, de preferência com não mais de 300 habitantes equivalentes.

Em aglomerados um pouco maiores, uma boa alternativa às fossas sépticas, é conseguida pela aplicação dos tanques IMHOFF. Embora estes possam ser de construção ligeiramente mais cara, poderão ser utilizados para servir populações superiores a 400 habitantes, situação onde constituem uma boa solução de tratamento primário, associados a leitos de secagem de lamas. Com efeito os tanques IMHOFF apresentam a grande vantagem de permitirem uma boa estabilização

das lamas, e grande facilidade em retirar **apenas as lamas bem digeridas**, o que possibilita que estas possam ser secas em leitos de secagem.

Recomenda-se por isso que, para o tratamento de efluentes de pequenos aglomerados urbanos, se adoptem as seguintes regras:

- Em povoações até 300 habitantes, podem ser utilizadas fossas sépticas como órgãos de tratamento primário, dimensionadas para períodos de retenção nunca inferiores a três dias⁽⁵⁾, usando órgãos de dois ou três compartimentos;
- Se proceda à remoção das lamas das fossas, pelo menos de dois em dois anos, não as retirando na totalidade, mas antes deixando uma pequena quantidade no fundo, lançando-as numa rede de saneamento que drene para uma estação de tratamento capaz de suportar o aumento daquela carga poluidora.
- Para aglomerados com população compreendida entre 300 e 400 habitantes, deve estabelecer-se a comparação entre a utilização de fossas sépticas e de tanques IMHOFF, como sistemas equivalentes de tratamento primário, avaliando cuidadosamente as questões relativas à remoção, transporte e eliminação correcta das lamas.
- Em aglomerados de dimensão igual ou superior a 400 habitantes equivalentes deverão usar-se tanques Imhoff para o tratamento primário dos efluentes, seguidos de órgãos que garantam um tratamento complementar ambientalmente adequado.
- Como órgãos complementares de tratamento, constituindo um tratamento secundário, ou mesmo terciário, poderão usar-se, conforme adiante se desenvolverá, leitos de macrófitas emergentes.

O recurso a estes sistemas, para tratar ou para complementar o tratamento de águas residuais, tem vindo a ser desenvolvido desde finais da década de setenta, sendo já muito usado em países como a Dinamarca, a França, a Alemanha ou os E.U.A.

Várias investigações, efectuadas sobretudo nos finais da década de oitenta, vieram demonstrar que os leitos de macrófitas emergentes, podem proporcionar uma purificação da água e uma eficiente remoção de nutrientes [Nichols, 1983; Brix, 1986].

Os sistemas de tratamento por leitos de macrófitas apresentam ainda várias vantagens, quando comparados com os sistemas de tratamento convencionais, nomeadamente:

- Baixos custos de construção;
- Baixos custos de exploração;
- Dispensam quaisquer equipamentos;
- São de manutenção simples, por constituírem sistemas de baixa tecnologia, podendo ser mantidos por pessoal não qualificado;
- Apresentam uma perfeita integração paisagística.
- Podem ser construídos em locais baixos, mesmo que inundáveis, sem inconvenientes ambientais.

A única dificuldade que podem apresentar, prende-se com a exigência de terreno com área razoável para a implantação dos leitos, (embora semelhantes às necessárias para as trincheiras filtrantes).

Conforme adiante se apresenta, os sistemas de leitos de macrófitas, podem constituir soluções extremamente úteis para o tratamento de águas residuais dos pequenos aglomerados rurais, ou como afinação do efluente depurado em estações de tratamento clássicas, quando o meio receptor deva ser preservado dos nutrientes: azoto e fósforo e, quando seja importante a remoção de poluição microbiológica⁽⁶⁾.

Considera-se que os leitos de macrófitas poderão ser soluções interessantes para um país como o nosso, com um grande número de aglomerados urbanos com menos de 1000 habitantes, com extensas áreas de território dispendo de uma orografia que dificulta a reunião dos efluentes de várias povoações em ETAR colectivas, com uma maioria de pequenos municípios com poucos meios técnicos, onde é de extrema importância que as ETAR a construir nesses aglomerados sejam de fácil exploração e manutenção e, de custos reduzidos, sem perda da eficiência.

Para terminar esta introdução, importa igualmente acentuar que:

- Independentemente do tipo de estação de tratamento de águas residuais que se tenha, é indispensável encarar e assumir que, estas infraestruturas por mais simples que sejam, requerem uma adequada manutenção e exploração pela entidade que esteja incumbida da gestão do sistema.

- A utilização de sistemas de tratamento complexos, preparados para médios ou grandes aglomerados, não é uma boa opção para tratar os efluentes das pequenas aldeias. Com efeito, tais opções, além de desnecessariamente caras, apresentam o inconveniente de exigirem uma gestão e exploração muito mais cuidada e de custos elevados, tornando-se difícil, em Municípios de pequena dimensão e com um corpo técnico insuficiente, assegurar a manutenção e conservação dos seus equipamentos. Por outro lado, não raramente ocorrem interrupções de funcionamento prolongadas, nestes pequenos meios, quer por falta de corrente eléctrica, quer para reparação dos equipamentos, as quais podem pôr em risco completo toda a ETAR.

Referências e notas:

- (1) No âmbito deste trabalho, considera-se pequeno aglomerado urbano aquele cuja população residente (acrescida da flutuante) não ultrapassa em regra os 700 a 800 habitantes.
- (2) No n.º 5 do art. 191.º exige-se o tratamento terciário sempre que a relação entre o caudal de estiagem da linha de água e o caudal do efluente seja inferior a 10. O art. 8.º Do Dec.-Lei 152/97 de 19 de Junho estipula que: "As normas gerais de descarga serão fixadas para cada instalação pela DRA territorialmente competente, tendo em conta, cumulativamente: a) As normas gerais de descarga que constam do Anexo XVII (VLE: CBO₅ = 40 mg/l; CQO = 150 mg/l; SST = 60 mg/l; Fósforo total = 10 mg/l; Azoto total = 15 mg/l)".
- (3) Devem ser prestados especiais cuidados aos aspectos construtivos, garantindo nomeadamente a estanquicidade e uma implantação adequada. Dever-se-á, ainda, evitar o seu abandono posteriormente à construção.
- (4) Não é objectivo deste trabalho a substituição pura e simples dos chamados tratamentos complementares, propostos no livro citado do eng. Queirós de Morais que poderão continuar a ser usados em certas situações. Pretende-se sim, apresentar alternativas melhor integradas no ambiente e mais eficazes na remoção dos nutrientes e microorganismos.
- (5) A aplicação de fossas sépticas para períodos de retenção inferiores a três dias deve ser evitada. A experiência tem demonstrado que, nestas condições, estes órgãos apresentam um funcionamento deficiente nomeadamente em períodos de chuva - resultante da afluência de caudais pluviais e, normalmente de uma exploração e gestão de lamas incorrecta, indo afectar a operação da decantação reduzindo a sua eficiência
- (6) Uma outra alternativa que poderá revelar-se interessante para o tratamento dos efluentes destes pequenos aglomerados rurais, será o recurso a sistemas de tratamento por lagunagem. Estes, exigem áreas de terreno bastante maiores, mas, mesmo nas regiões mais interiores do país já se torna hoje relativamente fácil, obter terrenos disponíveis para a construção de ETARs por lagunagem.
Dependendo do número de habitantes a servir e das condições climatéricas locais, os sistemas constituídos pela associação de uma lagoa facultativa seguida de uma lagoa de macrófitas, poderão constituir igualmente uma boa opção para pequenas povoações.

3

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LEITOS DE MACRÓFITAS
- UMA ABORDAGEM TEÓRICA****3.1- APRESENTAÇÃO**

Designam-se por leitos de macrófitas emergentes⁽⁷⁾ os sistemas constituídos por pequenas depressões escavadas no terreno, (ou pequenas lagoas), com o fundo impermeável, parcialmente cheias de um leito artificial, em material permeável (solo arenoso, areia grossa, gravilha fina, ou areão), podendo levar em toda a superfície uma estreita camada de solo arável, na qual são plantadas espécies botânicas adaptadas à vida em terrenos encharcados: as macrófitas emergentes. As plantas são espécies hidrófitas, providas de rizomas, sendo normal usar: *phragmites australis* (uma espécie de caniços); *scirpus lacustris* (os juncos) ou ainda *Typha Latifolia* (as espadanas)⁽⁸⁾.

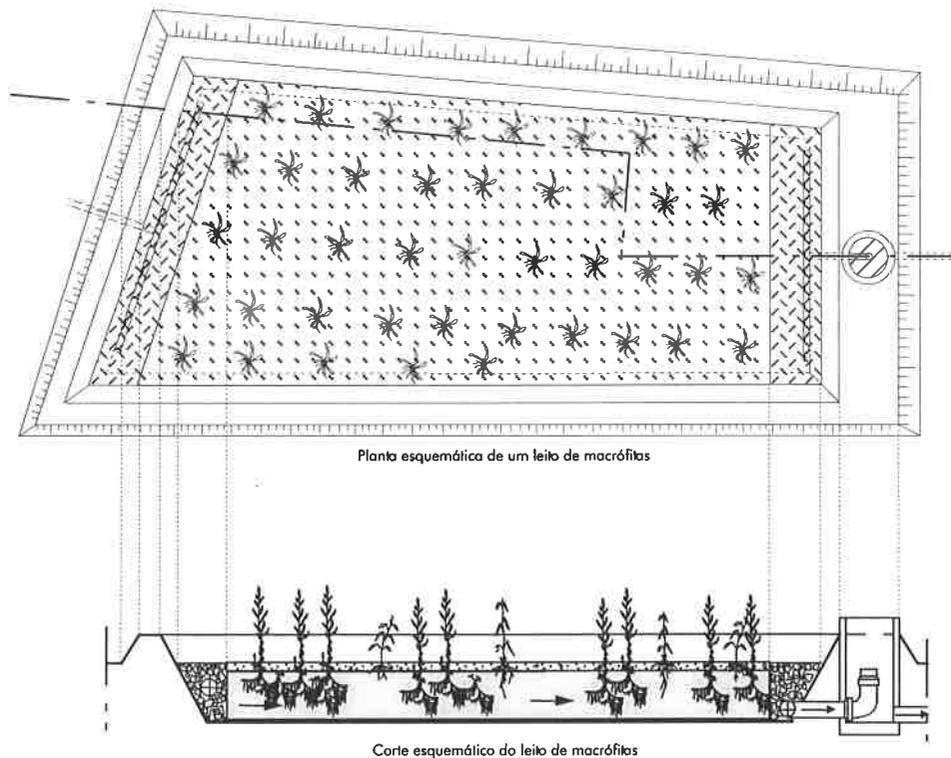


Figura I.1 - Esquema de um leito de macrófitas emergentes (planta e corte)

Desde há alguns anos tem havido um interesse considerável na utilização de leitos (ou lagoas) de macrófitas para tratar os esgotos de pequenos aglomerados, tanto nos Estados Unidos da América [Reed e al., 1988] como no norte da Europa [Brix e al, 1987; Conley e al., 1991].

O sistema de tratamento de águas residuais por leitos de macrófitas, constitui um método de tratamento consistindo em fazer passar aquelas águas, em fluxo horizontal e/ou fluxo vertical, normalmente depois de pré-decantadas em decantadores ou fossas sépticas, por um meio poroso, que aqui se designa por leito, onde se desenvolvem plantas hidrófitas: as macrófitas⁽⁹⁾.

Durante a passagem da água residual através do meio poroso e pelo meio das raízes e rizomas das macrófitas, ocorrem fenómenos de filtração, de oxidação-redução, de adsorção e de precipitação, de que resultam uma remoção de nutrientes, particularmente de azoto e fósforo, conjuntamente com uma redução dos microorganismos patogénicos⁽¹⁰⁾.

Em grande parte dos sistemas de tratamento dispendo de leitos de macrófitas, estas são aplicadas como tratamento terciário, complementando uma ETAR com tratamento secundário. São contudo, igualmente usadas para complementar o tratamento primário em povoações de pequena dimensão, tal como aqui se preconiza, dispensando o recurso a sistemas com equipamentos de manutenção delicada e garantindo uma adequada depuração dos efluentes⁽¹¹⁾. Em nosso entender, é justamente aqui que reside o maior interesse na aplicação de leitos de macrófitas no nosso país.

3.2 - O MEIO

O Meio ou leito é responsável pela remoção dos poluentes, quer directamente através de fenómenos físicos, nomeadamente de sedimentação dos sólidos suspensos e através de fenómenos químicos de absorção dos nutrientes, quer indirectamente propiciando o substrato sólido onde crescem as plantas (macrófitas emergentes) e são retidos os flocos de microorganismos [Reed e Crites, 1984; Brix, 1987; Reed e al., 1988].

O solo é muito importante para a remoção de sólidos suspensos e dos microorganismos patogénicos (por filtração e adsorção), devendo por isso usar-se um solo arenoso de baixa granulometria sempre que o objectivo principal for a eliminação

dos microorganismos. Contudo, em situações normais, podem usar-se meios de porosidade variada. Os mais finos permitem, como se disse, uma maior eliminação de microorganismos e uma melhor absorção dos nutrientes e maior clarificação, mas infelizmente exigirão leitos muito extensos, logo áreas muito maiores. Pelo contrário, leitos mais permeáveis de gravilha e areão não serão tão eficazes no desenvolvimento das plantas e clarificação dos efluentes, mas permitirão cargas hidráulicas maiores, e oferecem menores riscos de colmatção, particularmente importante nos dois primeiros anos de funcionamento.

É, no entanto, um erro, a utilização de um “meio” muito grosseiro, com a finalidade de reduzir as dimensões dos leitos de macrófitas, porquanto tais sistemas, tornar-se-ão muito pouco eficazes na remoção dos metais pesados e apresentarão menor rendimento na remoção dos nutrientes e dos microorganismos.

A condução hidráulica, ou percolação pelo “meio”, vai sendo alterada pelo desenvolvimento dos rizomas e das raízes, pela formação de precipitados e pela acumulação de partículas contidas nas águas residuais afluentes. É por isso normal que no primeiro ano de funcionamento, o leito apresente baixa condutividade hidráulica, podendo assim ocorrer inundação superficial [Brix, 1987].

A utilização de uma camada de gravilha junto ao fundo, como se preconiza, poderá evitar tais inundações, sendo esta a razão por que se aconselha que se adoptem leitos de macrófitas com uma camada inferior de vinte centímetros de espessura em gravilha fina, ou em areão.

A constituição do leito (ou meio), quanto à sua granulometria, pode ser muito variável. Desde sistemas constituídos por várias camadas de granulometrias crescentes de cima para baixo, até leitos mais homogêneos formados por um único tipo de solo permeável. Há mesmo sistemas em funcionamento em alguns países, em que se utilizou o solo local. Leitos pouco permeáveis podem acabar por apresentar problemas de colmatção no primeiro. ano e mesmo ao fim de um certo período de funcionamento. Além disso, estas lagoas apenas admitem baixas cargas hidráulicas.

A maioria dos sistemas em funcionamento que tem sido controlados dispõem de um leito constituído por materiais, garantindo uma boa permeabilidade, como seja um misto de areia e areão, particularmente na camada do fundo.

Em resumo, e como atrás se referiu, um meio muito permeável admitirá maiores cargas hidráulicas e estará menos sujeito a colmatção, mas em contrapartida não assegurará tão boa filtração e retenção, ou eliminação dos microorganismos patogénicos. Poderá, além disso, originar menor desenvolvimento das macrófitas.

Nos sistemas de leito com gravilha e areão, podem admitir-se cargas hidráulicas (caudal por unidade de superfície do meio) variando entre $2,5 \times 10^{-2}$ a $6 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A espessura da camada porosa pode variar entre 0,40 m e 1,00 m, sendo mais frequente o valor de 0,60m, que se recomenda.

No que concerne à estanquidade do leito de macrófitas, há que garantir por um lado a protecção das águas subterrâneas no local, e por outro lado assegurar uma boa alimentação, para irrigação das plantas ao longo de todo o ano. Assim, é recomendável que se proceda à impermeabilização do fundo e taludes do leito, com uma camada de cerca de vinte centímetros de argila, ou com uma tela de polietileno de 2mm de espessura.

Apenas em locais de solo muito argiloso se poderá dispensar a impermeabilização dos leitos de macrófitas.

O fundo do leito deve ter uma ligeira inclinação, da entrada para a saída, que não deve ser exagerada a fim de ser possível uma distribuição homogénea das águas residuais em todo o leito. A inclinação do fundo pode variar de 0,2 % a 3% ⁽¹²⁾, embora se recomendem valores de 0,5 a 1,5%.

Poderão adoptar-se diversas configurações para os leitos de macrófitas, por forma a adapta-los á configuração do terreno disponível, sem prejuízo de se assegurarem velocidades de escoamento compatíveis com o tipo de leito.

A configuração mais vulgar, acaba por ser: leitos de forma rectangular, devendo o comprimento C ser superior à largura L. Leitos com grande permeabilidade admitem alta relação C/L. Pelo contrário, quando o leito for constituído por solo com baixa permeabilidade deve adoptar-se um meio com baixo valor C/L.

3.3 - AS PLANTAS

As plantas são o "coração" de um leito de macrófitas. Elas contribuem para a oxigenação de todo o meio e para manterem uma boa condução hidráulica.

Conforme já atrás se referiu, podem ser usadas várias espécies de plantas “macrófitas emergentes” que se desenvolvem bem em meios muito húmidos - hidrófitas - sendo muito frequente na Europa e EUA a utilização de caniços (*phragmites*), nomeadamente a *phragmites australis*, ou de juncos (*scirpus sp.*). As espadanas, ou tabuas, particularmente a espécie “*typha latifolia*” aparece com frequência nos meios húmidos naturais do nosso país, considerando-se uma planta com boas características para ser usada, tanto mais que é muito fácil de encontrar. Outra espécie a explorar é o lírio amarelo dos pântanos “*iris pseudo acorus*” frequente nos espadanaís da Península Ibérica e existente em zonas húmidas no Baixo Mondego, que temos vindo a ensaiar, com bons resultados, como se dá conta no terceiro capítulo.

Este tipo de plantas têm raízes e rizomas extensos que, ao crescerem, facilitam o arejamento do solo, o que favorece o desenvolvimento de microorganismos aérobios responsáveis pela oxidação da matéria orgânica das águas residuais e asseguram a boa condutividade hidráulica.

Podem usar-se associações de plantas no mesmo leito, embora separadas: uma espécie no troço inicial e outra no final.

Recomenda-se que na escolha das plantas, seja tomada em conta a altura do leito. Para leitões de alturas superiores a 60 cm deve preferir-se as “*phragmites*”, cujas raízes conseguem atingir profundidades da ordem dos 100 cm.

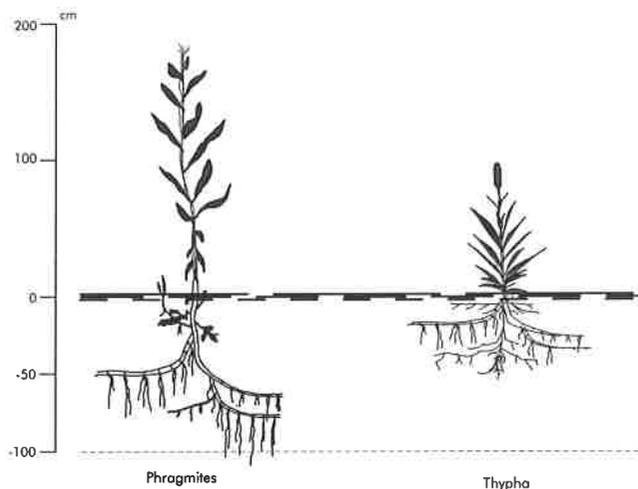


Figura I.2 - Distribuição vertical das raízes e rizomas

Recomenda-se ainda a utilização de caniços nomeadamente do género "*phragmites australis*" ou da "*phragmites vulgaris*", sempre que os efluentes possam apresentar altos teores de sódio, caso de águas residuais em povoações do Litoral onde podem ocorrer infiltrações de águas salobras.

Na maioria dos leitos de macrófitas em funcionamento, não têm sido encontrados sinais de toxicidade relativamente aos esgotos urbanos. Contudo, há relatos do aparecimento de plantas com folhas amareladas num sistema primário funcionando sem pré-tratamento [Gersberg e al., 1986].

Efluentes de adegas e destilarias, bem como de pocilgas, podem ser tóxicos para algumas plantas. [Finlayson e Mitchell, 1982; Bowmer, 1985]. No primeiro caso estarão em causa excesso de poluição química com baixa biodegradabilidade. No segundo caso, a razão parece ser devida a excesso de nutrientes.

3.4 - REMOÇÃO DA POLUIÇÃO

A grande concentração de microorganismos que se desenvolvem junto aos rizomas e raízes das macrófitas cria um meio propício à degradação da matéria orgânica e à desnitrificação, esta, associada às reacções de oxidação redução que ocorrem.

A libertação de oxigénio junto às raízes e rizomas das macrófitas, cria zonas de oxidação em volta daquelas, onde se processa a decomposição da matéria orgânica contida nas águas residuais, formando-se dióxido de carbono e água. São os microorganismos aeróbios os principais responsáveis pela remoção da carência bioquímica de oxigénio. Por outro lado, em simultâneo com a decomposição da matéria orgânica, a amónia é oxidada em nitratos pelas bactérias nitrificantes.

Nos espaços entre raízes aparecem zonas anóxicas, ou de redução por esgotamento do oxigénio, desenvolvendo-se bactérias desnitrificantes que promovem a redução dos nitratos em azoto que se liberta, conforme se procura mostrar no esquema da página seguinte (Figura I.3).

A capacidade de remoção dos poluentes depende de vários factores relacionados nomeadamente com a concentração destes à entrada no leito, da espessura e porosidade do meio e do tipo de plantas usadas. Como o oxigénio é fornecido ao meio através das plantas, é de grande importância a escolha destas, nomeadamente para se garantir que as raízes e rizomas atingem a camada mais profunda do leito.

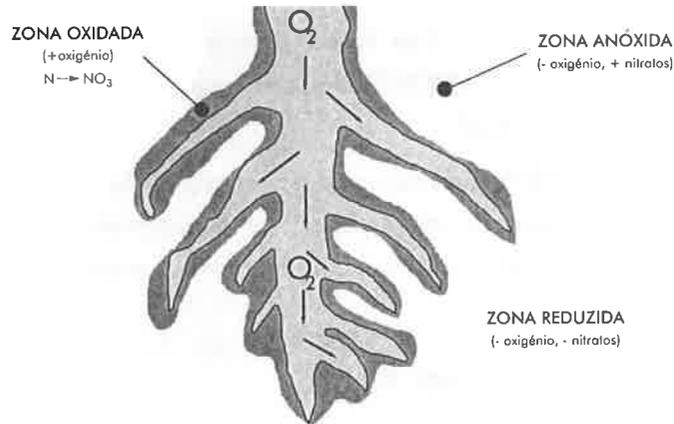


Figura 1.3- Representação esquemática das reacções de nitrificação/desnitrificação

Por outro lado é de grande importância também o controlo do nível da água no meio, porquanto, é sabido que a remoção dos microorganismos patogénicos ocorre melhor em meios não completamente encharcados, onde as reacções de oxidação/redução jogam um papel importante, do que em zonas húmidas completamente inundadas.

3.5 - DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de um leito de macrófitas não é uma operação simples, face aos parâmetros em jogo. Importa no entanto fornecer alguns dados mesmo que aproximados, que permitam, nesta fase de desenvolvimento dos conhecimentos, **pré-dimensionar** as lagoas por forma a poderem ser usadas, sem grandes riscos de colmatção ou quebra de eficiência. Devemos alertar no entanto que será desejável aprofundar o conhecimento de alguns parâmetros que poderão ser influenciados pelo nosso clima.

Feita esta ressalva poderá referir-se que no dimensionamento do leito, os parâmetros biológicos fornecem os elementos para o cálculo do volume, as características das plantas controlam a profundidade e as relações hidráulicas determinam a configuração do leito.

Apresenta-se de seguida um conjunto de equações que foram desenvolvidas, na perspectiva da utilização dos leitões de macrófitas como órgãos de tratamento secundário, visando a produção de um efluente cumprindo as exigências definidas

no Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de Junho, para a descarga de efluentes nos meios hídricos e do Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto; ou seja para rendimentos de 70 a 90% e $CBO_5 \leq 40$ mg/l.

Começaremos por referir que, tal como em qualquer sistema de rector de fluxo contínuo de escoamento do tipo “êmbolo”, num leito de macrófitas as reacções de remoção da CBO_5 desenvolvem-se segundo processos que se podem traduzir por uma equação do tipo:

$$\frac{C_e}{C_a} = \exp(-K_t \times T)$$

onde:

- Q - caudal afluyente [m^3 /dia]
- C_e - CBO_5 do efluente (saída) [mg/l]
- C_a - CBO_5 do afluyente (entrada) [mg/l]
- K_t - constante dependente da variação da temperatura [d^{-1}]
- T - tempo de retenção hidráulico [dias]

Importando no entanto fornecer fórmulas de aplicação mais simples, indica-se seguidamente um método de cálculo aproximado, que permite fixar as dimensões de um leito de macrófitas, conhecidos que sejam os caudais e a carga orgânica, em CBO_5 , afluyente.

Poderá determinar-se o volume do leito, arbitrando-se o tipo de material a empregar e a espessura, pela expressão seguinte [Reed e al., 1988]:

$$V = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{K_t} \times n \quad (a)$$

onde:

- V - volume do leito (volume útil do leito) [m^3]
- n - porosidade do meio [m^3 de vazios/ m^3 de leito] ⁽¹³⁾

O valor de K_t pode ser calculado através da expressão⁽¹⁴⁾:

$$K_t = K_{20} \times 1,06^{t-20} \quad (b)$$

onde:

- K_{20} - relação constante a 20°C;
- t - temperatura média de funcionamento do leito [°C]

No quadro seguinte, apresenta-se um conjunto de valores de K_{20} , adaptados dos citados por Conley e Lucy M. e verificados em situações reais.⁽¹⁵⁾

Quadro I.1 - Valores da constante K_{20} para vários meios e tempos de retenção

Meio de enchimento	K_{20} [d ⁻¹]	Tempo de retenção [d]
Misto	0,64	4,9
Misto (juncos)	0,70	6,0
Misto	0,76	4,6
Solo misto	0,93	9,6
Areão	0,98	2,1
Gravilha calcárea	0,98	2,0
Misto	1,03	4,1

A área superficial da lagoa de macrófitas pode ser obtida da equação (a), arbitrando a espessura do leito.

$$A_s = \frac{Q_x (\ln C_o - \ln C_e)}{K_r \times e \times n}$$

onde:

e - espessura do leito [m]⁽¹⁶⁾

n - porosidade do meio

Para o cálculo da secção transversal do leito da lagoa pode usar-se a expressão (retirada da fórmula de Darcy):

$$A_c = \frac{Q}{K_s \times \frac{dH}{dC}}$$

onde:

A_c - Área da secção transversal do leito [m²]

K_s - condutividade do leito saturado [m/d]

dH/dC - gradiente hidráulico [m/m]

C - comprimento do leito [m]

A condutividade do leito saturado K_s é função do tipo de meio usado, variando entre valores de 41 m/d para a areia e 4100 m/d para a gravilha grossa. Recomendam-se, para os meios propostos, valores da ordem de 100 a 400 m/dia.

O gradiente hidráulico dH/dC representa a energia perdida pela corrente ao percolar através do leito poroso. Propõe-se que se adopte para o gradiente hidráulico o valor da inclinação do leito⁽¹⁷⁾.

Por outro lado, sugere-se que se adoptem velocidades superficiais abaixo de 8,0 m/d, para reduzir o risco de inundação, prevenir o crescimento excessivo das plantas e garantir tempo de contacto suficiente para o tratamento.

3.6 - RENDIMENTOS ESPERADOS

A capacidade de remoção da poluição depende de vários factores relacionados, nomeadamente, com a concentração do afluente em CBO_5 e em sólidos suspensos, da espessura e porosidade do leito e do tipo de plantas usadas. São os microorganismos aeróbicos os principais responsáveis pela remoção da CBO_5 , enquanto que o fósforo é eliminado especialmente por fenómenos de adsorção e de precipitação, como se referiu no ponto 3.1.

Estudos efectuados em instalações existentes em vários países a várias latitudes e com diferentes climas, levam a concluir que, desde que se adoptem meios com permeabilidades e comprimentos adequados, os rendimentos na remoção da CBO_5 e dos SST são muito bons, permitindo um efluente final cumprindo as exigências regulamentares. Indicam-se rendimentos de 50 a 95% para as remoções da CBO_5 e de 60 a 98% para a remoção dos SST⁽¹⁸⁾ nos leitos de macrófitas artificiais, correspondendo os menores rendimentos a sistemas que funcionam há menos de três anos.

Quanto à remoção dos nutrientes são citados rendimentos da ordem dos 24 a 70% para o azoto total⁽¹⁹⁾ e de 57 a 94% para a amónia, enquanto para o fósforo os rendimentos referidos na bibliografia consultada variam entre 15 a 68%, dependendo muito da quantidade deste nutriente à entrada no leito. A maior parte da remoção do fósforo ocorre por fenómenos de adsorção e precipitação, verificando-se uma quebra no rendimento, para concentrações à entrada muito elevadas.

As remoções mais elevadas correspondem a baixas velocidades de escoamento e ocorrem quando o tempo de retenção é superior a 6 a 8 dias.

4 CONCLUSÕES

No momento crucial em que se pretende dotar o país de sistemas de depuração de águas residuais que permitam aproximar-nos de níveis de cobertura semelhantes aos dos outros países da União Europeia, é necessário que se rentabilizem os recursos disponíveis construindo as estações de tratamento que, encontrando-se já suficientemente testadas, se adaptem às nossas características fisiográficas e climatéricas e que apresentem baixos custos de exploração.

Para os pequenos aglomerados, a que nos vimos referindo, os sistemas constituídos por fossas sépticas, ou por tanques IMHOFF, como tratamento primário, seguidos de leitos de macrófitas como tratamento complementar, podem constituir uma boa opção, quando analisados, quer sob o prisma do investimento inicial, quer quanto aos baixos custos de exploração, quer ainda no referente à qualidade final do efluente.

Os leitos de macrófitas poderão ainda constituir uma boa solução para afinação do efluente das estações clássicas com tratamento secundário, quando situadas a montante de áreas ambientalmente sensíveis, nomeadamente albufeiras em que existam captações de água para abastecimento público, situação em que se torna importante a remoção dos nutrientes.

Os leitos de macrófitas desde que sujeitos a um controlo correcto do nível da saída do efluente, (que se consegue actuando sobre o tubo de PVC, no interior da caixa da saída), de modo a impedir a inundaçãõ superficial, não apresentam quaisquer problemas com cheiros ou com proliferaçãõ de insectos.

Na medida em que se enquadram perfeitamente no meio envolvente, em que permitem reter os nutrientes nas plantas, que depois de cortadas podem ser usadas na alimentaçãõ animal ou incorporadas no solo, estes sistemas poderão constituir soluçãões ambientalmente correctas. Sãõ sistemas aconselháveis, nomeadamente, para as povoaçãões de Parques e de outras Áreas Naturais e sensíveis, onde se pretendam soluçãões que não causem impactes ambientais, nomeadamente na paisagem.

As águas provenientes dos sistemas de tratamento por leitos de macrófitas poderão ser armazenadas e usadas em irrigaçãõ, pois estãõ suficientemente depuradas. Obviamente que, como acontece com todas as águas residuais tratadas,

mesmo pelos melhores sistemas de tratamento, não deverão ser usadas para rega de hortícolas sem adequada desinfecção. Recomenda-se por isso que, as águas tratadas em ETAR de dimensões razoáveis que disponham de leitos de macrófitas como tratamento secundário ou terciário, sejam sujeitas a desinfecção (preferencialmente por radiação ultravioleta), antes de serem lançadas em regadios de uso colectivo para poderem ser usadas na rega indiscriminada de quaisquer produtos.

Referências e notas:

- (7) Em inglês - "root zone bed", uma das variedades das conhecidas wetlands.
- (8) Não se aborda neste artigo as macrófitas imergentes, designadas vulgarmente por algas ou plantas aquáticas tipo "jacinto de água" por exemplo, por se considerarem de utilização mais difícil, pela dificuldade de retirada e de eliminação do excesso da massa vegetal.
- (9) A utilização de lagoas de macrófitas, sem serem precedidas de pré-tratamento, não se recomenda por apresentarem normalmente problemas de colmatção, com a subsequente libertação de maus odores e proliferação de insectos.
- (10) Os leitos de macrófitas, nomeadamente com plantas do género "typhas" podem também oferecer bons resultados na remoção de metais pesados.
- (11) Brix, H 1987. Double Benefits of macrophite revival. Water Qual. Int. 2, 22-23.
- (12) Deve ser possível mediante a regulação da saída, inundar toda a extensão do meio poroso, sem que nas zonas de jusante o líquido tenha que subir acima da camada superior. Inclinações de 0,5% a 1% serão de recomendar.
- (13) O valor da porosidade pode ser tomado igual a 0,42 para solos coerentes [Boon, 1985]; a 0,35 para a areia e 0,25 para a gravilha [Linsley e al., 1982].
- (14) Esta equação também surge na literatura como: $K_1 = K_{20} \times 1,1^{1-20}$ [Reed e al., 1988]
- (15) Conley, Lucy M. em "An Assessment of the root zone method of wastewater treatment".
Sugere-se para Portugal, nesta fase de conhecimentos, $K_{20} = 0,75$
- (16) São recomendáveis espessuras de 0,50m a 1,00m, dependendo das espécies botânicas usadas.
- (17) Reed e al.,(1988) Natural Systems for Waste Management and Treatment.
- (18) Brix, Hans, 1987; Hammer, D. A.;Silva, Nelson e Relvão, A.M..
- (19) Foram verificados rendimentos superiores quando se misturaram efluentes primários com efluentes secundários numa relação de $\frac{1}{2}$. Gersberg e al., 1984, Watson e al., 1986.

APLICAÇÃO PRÁTICA

Utilização de leitos de macrófitas em aglomerados de 300 e de 700 habitantes

António Machado Relvão

Engenheiro Civil
Assessor Principal da Comissão de Coordenação da Região Centro

Eugénio José Santiago

Engenheiro Civil
Direcção Regional do Ambiente do Centro

Nelson M. L. Pereira da Silva

Engenheiro Civil
Direcção Regional do Ambiente do Centro

APLICAÇÃO PRÁTICA

No culminar desta explanação sobre lagoas de macrófitas, pretendeu-se concretizar a aplicação prática deste sistema depurador de águas residuais domésticas, adaptando-o a casos reais com que se deparam, no dia a dia, os técnicos das autarquias deste País, ao terem de assegurar, com poucos meios, o tratamento dos efluentes domésticos de pequenos aglomerados urbanos, dos seus municípios.

De facto, alguma carência de técnicos qualificados, neste campo específico do saneamento básico que é o tratamento de águas residuais, tem provocado situações de aplicação incorrecta de sistemas depuradores, nomeadamente em pequenas povoações, indo desde os mais rudimentares com a consequente ineficiência de tratamento, aos mais sofisticados, com as subseqüentes dificuldades de exploração que se traduzem frequentemente num ineficiente funcionamento e mesmo no abandono, além de outros factores de custos que não cabe aqui caracterizar.

Aproveitando a compreensão e a aceitação de órgãos depuradores como as fossas sépticas e os tanque Imhoff, tão comuns no tratamento dos efluentes residuais das povoações deste País, pretendeu-se associá-los às lagoas de macrófitas, fechando-se o circuito de tratamento eficiente das águas residuais, sem onerar em demasia os orçamentos camarários, nomeadamente com custos de conservação e manutenção, e simultaneamente, dotar os órgãos depuradores deste tipo, já existentes, ou a realizar, com um tratamento que garanta o cumprimento dos parâmetros exigidos na legislação nacional e comunitária, mas que acima de tudo garantindo um índice de satisfação das populações servidas por estes sistemas, contribua para a melhoria das suas condições sanitárias e qualidade de vida.

Assim, de seguida, apresenta-se uma aplicação prática de lagoa de macrófitas, devidamente dimensionada e que pretende vir a constituir um recurso expedito de auxílio na resolução dos problemas de tratamento de esgotos nos aglomerados populacionais mais pequenos deste País.

Nesta aplicação, que corresponderá a aglomerados populacionais que irão de 100 a 1000 habitantes, considera-se uma sub-divisão de acordo com o tamanho do aglomerado.

Assim entre 100 e 300 a 350 habitantes considera-se a hipótese de um sistema depurador constituído por uma fossa séptica colectiva de pequena capacidade unitária complementada por uma lagoa de macrófitas.

Entre os 350 e os 1000 habitantes considera-se que a ETAR será constituída por obra de entrada com gradagem (tratamento preliminar), a que se segue um tanque Imhoff complementado por uma lagoa de macrófitas para tratamento do efluente líquido e com leitos de secagem de lamas.

Não se fará nesta apresentação qualquer referência à concepção e dimensionamento de obras de entrada, fossas sépticas ou tanques Imhoff, por tais matérias serem do domínio técnico há largos tempos.

Assim considerar-se-á apenas o dimensionamento das lagoas de macrófitas, que complementarão aqueles órgãos de depuração primária, como a seguir se verá.

Em anexo apresentamos dois esquemas, ou perfis hidráulicos, correspondentes aos dois conjuntos, a saber: fossa séptica seguida de leito de macrófitas e tanque Imhoff seguido de leito de macrófitas. Apresenta-se também um pormenor do leito em corte transversal, indicando o tipo e dimensões das camadas de materiais inertes constituintes do meio.

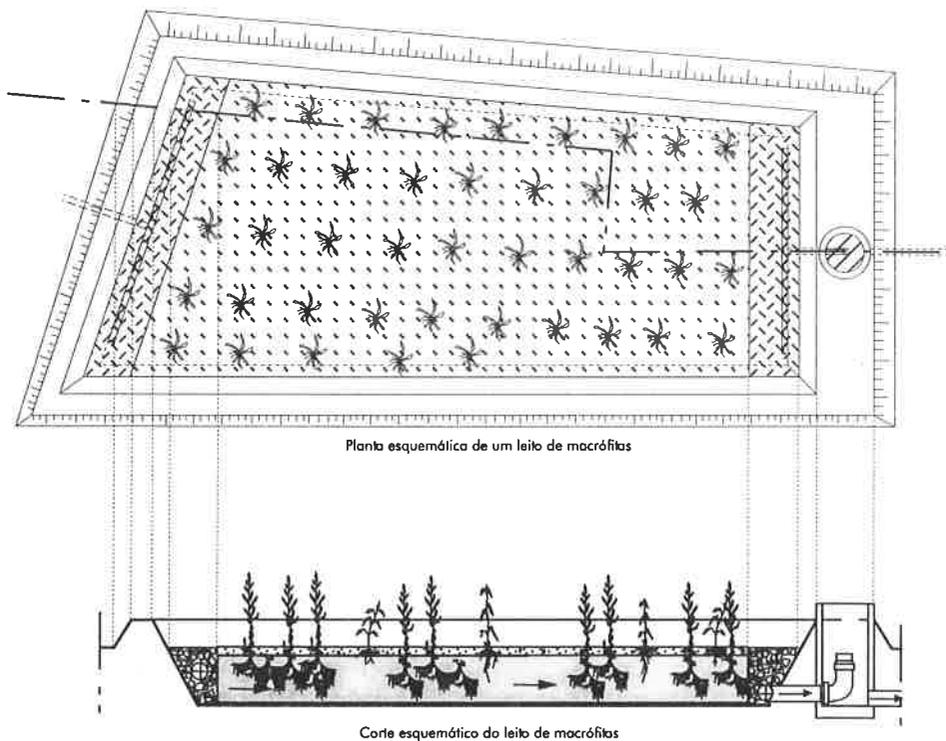


Figura II.1 - Leito de macrófitas (planta esquemática e corte)

1 SOLUÇÃO I: Fossa séptica seguida de lagoa de macrófitas

1.1 - CAMPO DE APLICAÇÃO

A consideração deste sistema depurador, constituído por uma associação de fossa séptica e de uma lagoa de macrófitas, justifica-se para intervalos populacionais compreendidos entre os menos de 100 e os 300 a 350 habitantes, tendo em atenção não só a tradicional utilização, nos pequenos aglomerados, das fossas sépticas hoje tão vulgares no nosso País, como também pelas eficiências do tratamento que esta associação de órgãos traduz no efluente final. Finalmente e não menos importante, esta associação de órgãos justifica-se pelos baixos custos dos investimentos: inicial e de exploração, a não exigência de pessoal qualificado para a sua manutenção, a dispensa de qualquer equipamento electromecânico e finalmente pela regularidade de funcionamento de todo o sistema.

1.2 - DIMENSIONAMENTO

Assumindo que os dados de base para a concepção do sistema depurador são os que a seguir se apresentam (Quadro II.1) e que o rendimento de uma fossa séptica em termos biológicos ronda os 30% a 35%, no dimensionamento da lagoa considerou-se a carga orgânica e concentração das águas residuais depois do pré-tratamento na fossa. Conhecida a população e as capitações, logo os caudais a tratar e a carga orgânica afluyente, consideram-se os seguintes parâmetros de projecto:

- Concentração máxima admitida de CBO_5 do efluente, na saída da lagoa:

$$C_e = 40 \text{ mg/litro}$$
- Capitação de águas residuais: $Q = 100 \text{ l/hab.dia}$ a 130 l/hab.dia .
- Porosidade média do meio com um misto de gravilha fina e areia grossa:

$$n = 0,30 \text{ a } 0,35 \text{ m}^3 \text{ de vazio/m}^3 \text{ de leito.}$$
- Consideraram-se temperaturas médias de funcionamento de 15°C e 12°C conforme os locais de implantação das lagoas (zonas litorais e interiores, respectivamente).
- Tomando para K_{20} o valor de 0,76 vem,
 para: $T = 12^\circ\text{C}$ $K_1 = 0,477\text{dia}^{-1}$
 $T = 15^\circ\text{C}$ $K_1 = 0,568\text{dia}^{-1}$

Outro factor a ter em conta no dimensionamento dos leitos de macrófitas prende-se com a altura útil do seu meio poroso - que se aconselha ser de 0,50 m se se trabalhar com juncos (do género *scirpus sp.*), de 0,60 m se as plantas forem os lírios amarelos dos pântanos "*iriis pseudo acorus*" de 0,60 m, a 0,70 m trabalhando com caniços (*phragmites australis*) ou espadanas (*typha latifolia*). Nestes valores não estamos a considerar a espessura da camada superficial, de terra vegetal, uma vez que intervém pouco no funcionamento).

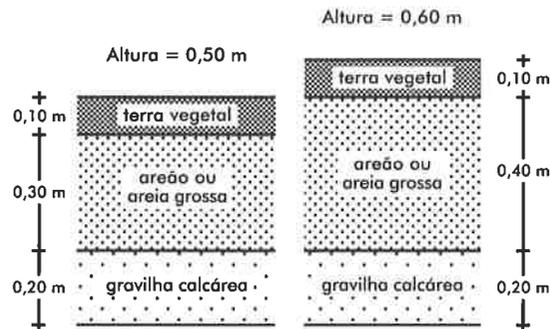


Figura II.2 - Altura útil do leito da lagoa de macrófitas

Da consideração dos dados de base atrás referidos, aplicados às expressões de dimensionamento apresentadas no primeiro capítulo deste trabalho, chega-se às áreas úteis de dimensionamento dos leitos de macrófitas, tendo em conta o número de habitantes a servir, a porosidade efectiva do meio e a temperatura média dos efluentes, resultando os valores resumidos no quadro da folha seguinte (Quadro II.1).

Quadro II.1 - Exemplo de dimensionamento - Sistema Fossa séptica seguida de leito de macrófitas emergentes

Parâmetros	Unidades	ano 0	ano 20
População	hab.	300	300
Capitação	l/hab.dia	100	130
Coeficiente de afluência		.80	.80
Caudal médio diário	m ³ /dia	24,00	31,20
Caudal de infiltração (1/2 Qm)	m ³ /dia	12,00	15,60
Carga orgânica unitária	gr CBO ₅ /hab.dia	54	54
Carga orgânica diária total	Kg CBO ₅ /dia	16,20	16,20
Concentração de CBO ₅	mg/l	450,00	346,15
Eficiência de tratamento na fossa séptica	%	30	30
Concentração de CBO ₅ à entrada da lagoa	mg/l	315,00	242,31
Concentração de CBO ₅ à saída da lagoa	mg/l	40,00	40,00
Constante Kt	d ⁻¹	.48	.48
Porosidade (n)	m ³ /m ³	.30	.30
Espessura do leito e)	m	.60	.60
Área superficial resultante	m ²	860,00	976,00
Nº de lagoas adoptadas	un.	1	1
Dimensões do fundo interior das lagoas	m x m	20 x 43	20 x 49
Área superficial final (As)	m ²	860	980

At > 11,7

A área transversal deverá ser pelo menos de:

$$At = \frac{46,8}{400 \times 0,01} = 11,7 \text{m}^2$$

2

SOLUÇÃO II: Obra de entrada - Tanque Imhoff - Lagoa de macrófitas - Leitos de secagem

2.1- CAMPO DE APLICAÇÃO

A opção por este sistema justifica-se para intervalos populacionais compreendidos entre os 350 e os 800 ou mesmo 1000 habitantes, tendo em atenção não só as eficiências do tratamento que levam a uma boa qualidade do efluente final, como também os baixos custos de investimento inicial e de exploração, a não exigência de pessoal qualificado para a sua manutenção, a dispensa de qualquer equipamento electromecânico e, finalmente, pela regularidade de funcionamento de todo o sistema.

2.2- DIMENSIONAMENTO

Assumimos que os dados de base para a concepção do sistema depurador são os que a seguir se apresentam (Quadro II.2) e que o rendimento de um tanque Imhoff com obra de entrada a montante em termos biológicos ronda os 35 a 40%.

Ao serem conhecidos os caudais a tratar e a carga orgânica afluyente, poderá proceder-se ao dimensionamento do sistema, considerando os mesmos parâmetros de projecto já referidos para a aplicação I, ou seja:

- Concentração máxima de CBO_5 do efluente na saída da lagoa:
 $C_e = 40 \text{ mg/litro}$
- Capitação de águas residuais: $Q = 100 \text{ l/hab.dia}$ a 130 l/hab.dia
Carga orgânica 54 gr/hab.dia
- Porosidade média do meio composto por um misto de gravilha fina (de preferência calcárea) e areia grossa: $n = 0,30$ a $0,36$ (m^3 de vazio/ m^3 de leito)
- Consideraram-se temperaturas médias de funcionamento de 15°C e 12°C conforme os locais de implantação das lagoas (zonas litorais e interiores, respectivamente).
- Tomando para K_{20} o valor de 0,80 vem,
para: $T = 12^\circ\text{C}$ $K_1 = 0,502 \text{ dia}^{-1}$
 $T = 15^\circ\text{C}$ $K_1 = 0,598 \text{ dia}^{-1}$

A aplicação destes critérios permitem o dimensionamento do leito de macrófitas expresso no quadro da página seguinte (Quadro II.2).

Quadro II.2 - Exemplo de dimensionamento - Sistema de Tanque Imhoff seguido de leito de macrófitas emergentes

Parâmetros	Unidades	ano 0	ano 20
População	hab.	700	700
Capitação	l/hab.dia	100	130
Coeficiente de afluência		.80	.80
Caudal médio diário	m ³ /dia	56,00	72,80
Caudal de infiltração (1/2 Qm)	m ³ /dia	28,00	34,60
Carga orgânica unitária	gr CBO ₅ /hab.dia	54	54
Carga orgânica diária total	Kg CBO ₅ /dia	37,80	37,80
Concentração de CBO ₅	mg/l	450,00	351,96
Eficiência de tratamento na fossa séptica	%	30	30
Concentração de CBO ₅ á entrada da lagoa	mg/l	315,00	242,31
Concentração de CBO ₅ á saída da lagoa	mg/l	40,00	40,00
Constante Kt	d ⁻¹	.502	.502
Porosidade (n)	m ³ /m ³	.35	.35
Espessura do leito e)	m	.60	.60
Área superficial resultante	m ²	1644,40	2215,50
Nº de lagoas adoptadas	un.	1	2
Dimensões do fundo interior das lagoas	m x m	38,5 x 44	38,5 x 59
Área superficial final (As)	m ²	1694	2272

A área transversal deverá ser no mínimo de:

$$A_t = \frac{107,4}{400 \times 0,01} = 26,9 \text{ m}^2$$

3 PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Na construção das lagoas de macrófitas dever-se-á avaliar se a configuração do leito, prevista, se adapta a topografia local. Uma das vantagens destes sistemas é a sua versatilidade de formas para uma melhor adaptação ao terreno permitindo uma perfeita integração paisagística (mantendo no entanto a área superficial e desde que não se introduzam alterações significativas na relação entre o comprimento e a largura). Relativamente aos aspectos construtivos, recomenda-se:

- O fundo e os taludes deverão ser regularizados e compactados, devendo ficar isentos de pedras e de paus, especialmente se a impermeabilização tiver que ser feita com tela de polietileno (de 1,5 a 2 mm de espessura).
- O enchimento do leito deverá ser efectuado com material de granulometria indicada no projecto, dentro do que se propõe neste trabalho.
- As plantas deverão, preferencialmente, ser transplantadas de viveiro. Poderá, no entanto admitir-se a plantação de rizomas no início da Primavera, não os enterrando demasiado (a parte mais superficial deverá ficar fora da água) ou mesmo de caules cortados com cerca de 50 cm, no caso das plantas serem phragmites (plantadas logo após a “colheita” nos meses de Maio ou Junho). O compasso não deverá ser superior a 30 cm ou, pelo menos, 10 a 12 plantas por metro quadrado. Após a plantação, deverão ser imediatamente regadas e, se os efluentes ainda não estiverem ligados, será necessária a rega frequente das plantas.
- É recomendável que no início do funcionamento, seja colocada uma quantidade de água no leito de macrófitas, com alguns dezenas de centímetros de altura, de modo a criar um meio húmido necessário à adaptação das plantas (nesta altura a tubagem de saída deve ter uma ponta de PVC que impeça a descarga desta água).
- Será indispensável que, enquanto os afluentes provenientes do órgão de tratamento primário não afluem à lagoa, se façam regas frequentes de modo a evitar a morte das plantas.
- Deve existir um sistema de controlo do nível de saída do efluente da lagoa (através de curva ajustável), por forma a impedir a inundação superficial da lagoa - o que poderia provocar o aparecimento de cheiros e a proliferação

de mosquitos e, de modo a permitir a regulação dos níveis de Inverno e de Verão.

- Se o leito de macrófitas for precedido de fossa séptica, dever-se-á ventilar a caixa que antecede a entrada na lagoa, ou em alternativa a tubagem de distribuição, por meio de dois tubos com pelo menos 110 mm de diâmetro a implantar nos extremos daquela.

4 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO

Para finalizar esta apresentação indicam-se, de seguida, alguns procedimentos de manutenção que devem ser respeitados, durante a exploração destes sistemas apresentados.

4.1- LAGOA DE MACRÓFITAS

- A lagoa de macrófitas deve ser **inspeccionada, no mínimo, uma vez por semana**, de modo a verificar se a percolação decorre com normalidade, ou se, pelo contrário, há indícios de colmatação da lagoa e para, se necessário, afinar o dispositivo de saída e regular o nível da água no leito.

Caso se verifiquem indícios de inundação deve promover-se à avaliação das causas e rebaixar o nível da saída retirando a(s) ponta(s) do tubo de saída e eventualmente desentupindo a tubagem da entrada, se necessário.

- O nível da água na lagoa deve ser mantido, no mínimo, 5 a 10 cm abaixo da superfície, em qualquer ponto daquela.

- Deve proceder-se ao **corte e remoção de plantas velhas** e das em excesso, **pelo menos uma vez por ano**, no Outono, incorporando-as em solo agrícola como fertilizante, utilizando-as para alimentação animal, ou queimando-as após secas ao sol. Como as plantas assimilam uma fracção de nutrientes poderá ser vantajoso **efectuar mais um ou vários cortes em pleno ciclo vegetativo** para aumentar a remoção de azoto e fósforo.

- O controlo da vegetação daninha é feita no início do funcionamento tendo o cuidado de plantar as plantas logo após a preparação do terreno e alguns meses depois, se necessário, efectuando o arranque manual das infestantes. Poderá alguns meses depois da entrada em funcionamento, caso seja necessário novo controlo das infestantes, promover-se a inundação forçada de toda a superfície e mantendo-a durante pelo menos um dia, – mas só depois de as plantas terem vários braços (folhas) aéreas bem desenvolvidos. Em anos seguintes, pode efectuar-se o controlo da maior parte das infestantes não hidrófitas, com um procedimento de inundação semelhante ao descrito, mas com água até cerca de 10 a 15 cm de altura acima da superfície.

- Os efluentes tóxicos não podem ser aduzidos para a lagoa de macrófitas (efluentes de destilarias, adegas, etc) sob pena de provocarem um excesso de

poluição química de baixa biodegradabilidade. De igual modo são de evitar os efluentes de suiniculturas e afins, que provocariam um excesso de nutrientes a remover. Se se notarem indícios de toxidade nas plantas deverá proceder-se a inspeções da rede para detectar a origem dos poluentes tóxicos para as plantas, eliminando a causa.

- Se se verificarem sinais de forte colmatção do leito ao fim de alguns anos de funcionamento, deverão procurar-se as causas, nomeadamente verificar o nível de lamas da fossa (ou do tanque Imhoff), retirando-as se necessário.

Poderá conseguir-se a melhoria da permeabilidade do leito adicionando-lhe gesso, por meio de vários espalhamentos superficiais.

4.2- FOSSA SÉPTICA

- Ainda neste campo de procedimentos de manutenção e mesmo de construção de fossas sépticas, devem ser seguidas as recomendações do Eng^o Álvaro Queirós de Moraes, expressos na sua publicação "Depuração dos esgotos domésticos dos pequenos aglomerados populacionais e habitações isoladas".

- As fossas sépticas não devem, de modo algum, ser implantadas em zonas pântanosas ou de provável inundação.

- As fossas sépticas tem de ser estanques, devendo ser cheias e ensaiadas com água após a sua construção, não sendo necessário nem desejável que se proceda ao seu posterior esvaziamento, na entrada em funcionamento do sistema.

- A descarga de lamas deverá ser realizada no máximo de dois em dois anos, havendo o cuidado de deixar no fundo, uma pequena quantidade de lamas, que irão auxiliar o processo de digestão das lamas frescas. Deverão igualmente serem retiradas as escumas superficiais, enviando-as para um aterro sanitário.

4.3- TANQUE IMHOFF

- Após a construção deste órgão deve proceder-se ao seu imediato enchimento com água e verificar a sua estanquidade, mantendo-o cheio até à entrada em funcionamento do sistema.

- Com o funcionamento, os flocos de lamas arrastados para a superfície em virtude de libertações gasosas provenientes da digestão das lamas, originam a

acumulação de escumas, acabando por formar-se uma carapaça, que deve ser quebrada periodicamente, a fim de permitir a libertação dos referidos gases.

- Como no início do funcionamento do tanque Imhoff não há produção de lamas digeridas, é recomendável a introdução de lamas provenientes de fossas sépticas ou de outro tanque Imhoff, de modo a acelerar as reacções de digestão.

- Pode ainda acontecer, no início do funcionamento do tanque Imhoff que em virtude de não haver lamas digeridas, o processo de digestão anaeróbia ocorra de forma defeituosa, i.é, o pH das lamas seja baixo (meio ácido, caracterizado por cheiro intenso e cor acinzentada). Se tal acontecer dever-se-á proceder à correcção do pH com recurso à introdução de hidróxido de cálcio (cal apagada), pela zona de arejamento.

- As lamas digeridas são extraídas através de tubagem apropriada, por pressão hidrostática, sendo esta descarga efectuada para os leitos de secagem periodicamente. As lamas digeridas reconhecem-se pela sua cor negra e pelo seu cheiro (não desagradável) assemelhando-se ao alcatrão.

- As lamas digeridas não devem ser retiradas na sua totalidade, (só se devem retirar aquelas que apresentem cor negra de alcatrão) de modo a que as remanescentes possam garantir a continuação do processo de digestão.

- Deve-se colocar no topo da tubagem de arejamento da descarga das lamas, uma rede de protecção, para prevenir eventuais actos de vandalismo, como o lançamento de pedras ou outros produtos que possam provocar entupimentos.

- Verificando-se o espessamento das lamas no digestor e na tubagem de descarga, impedindo a saída das lamas, deve lançar-se água com uma mangueira pelo tubo de arejamento ao mesmo tempo que se mantém a válvula de saída aberta.

- Sempre que possível, deve ser evitada a utilização de sistemas de bombagem na elevação de águas residuais para o tanque Imhoff, por forma a obviar os inconvenientes derivados de avarias e de manutenção que estes sistemas acarretam.

LEITOS DE MACRÓFITAS EMERGENTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

- Controlo de funcionamento

António Machado Relvão

Engenheiro Civil

Assessor Principal da Comissão de Coordenação da Região Centro

Nelson M. L. Pereira da Silva

Engenheiro Civil

Direcção Regional do Ambiente do Centro

1 INTRODUÇÃO

Na Região Centro, desde 1995⁽¹⁾, têm vindo a ser projectados e construídos alguns sistemas de tratamento de efluentes que recorrem a utilização de leitos de macrófitas como órgãos de tratamento biológico de nível quer secundário quer mesmo terciário. A maioria, porém utiliza os leitos, ou lagoas de macrófitas, como também são designadas, como “órgãos complementares” associados a fossas sépticas, ou a tanques Imhoff.

Mais recentemente, em vários outros municípios do País, foram igualmente construídos leitos de macrófitas associados a fossas sépticas, como órgãos de decantação e digestão de lamas.

A razão de ser da forte proliferação dos leitos de macrófitas pelo País, dever-se-á a que, os leitos ou lagoas de macrófitas são sistemas adequados para o tratamento de efluentes de pequenos aglomerados urbanos em municípios do Interior do país, que lutam com falta de meios técnicos, em virtude de, como se referiu no Cap. I, serem sistemas que:

- Dispensam equipamentos eléctricos e electromecânicos,
- Exigem pouca manutenção,
- A manutenção é muito simples, podendo ser assegurada por pessoal não especializado
- Integram-se muito bem na paisagem,
- Na parte dos leitos de macrófitas admitem aumentos de caudais moderados,
- Permitem aproveitar órgãos já existentes; como sejam fossas sépticas e tanques Imhoff.

De entre os municípios onde se tem vindo a construir leitos de macrófitas, destaca-se o de Santa Comba Dão, situada nas margens da albufeira da Aguieira, onde estão construídas, ou em construção, 18 unidades todas associadas a fossas sépticas servindo populações de 100 a 300 habitantes.

Também nos concelhos vizinhos, situados igualmente a montante das albufeiras da Aguieira e Raiva, existem alguns sistemas de tratamento semelhantes, algumas vezes associando um tanque Imhoff a uma lagoa de macrófitas.

Tendo em vista avaliar as condições de funcionamento e procurando recolher elementos que pudessem servir para testar as formulas de dimensionamento e,

particularmente a constante K_1 dependente da temperatura do meio, iniciou-se em Janeiro de 1998 o controlo regular de dois leitos de macrófitas existentes no concelho de Santa Comba Dão, designados por: Cagido 1 - na aldeia de Cagido e Gestosa 2 - na aldeia de Gestosa.

Apresentamos de seguida os resultados desse controlo, que nos permitem tirar já algumas conclusões destes sistemas de tratamento servindo pequenos aglomerados populacionais.

Durante a apresentação e descrição do processo, far-se-ão comentários ao sistema, resultantes da experiência obtida no acompanhamento destes e de outros leitos de macrófitas já em exploração e da observação de alguns em construção, na Região Centro.

2 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ESTUDADOS

A estação de tratamento de Cagido 1, é composta de uma fossa séptica de pequena capacidade, seguida de um leito de macrófitas. Destina-se a servir uma população equivalente de 200 habitantes. A fossa séptica tem 40 metros cúbicos de capacidade e a lagoa de macrófitas uma área de 20 x 12 m².⁽²⁾

Está em funcionamento desde Novembro de 1997. No início do nosso acompanhamento em Janeiro de 1998, as plantas – macrófitas, estavam apenas em início de rebentação com poucas folhas.

A ETAR de Gestosa 2 é composta de uma fossa séptica de pequena capacidade, seguida de um leito de macrófitas. Destina-se a servir uma população equivalente de 100 habitantes. A fossa séptica tem 25 metros cúbicos de capacidade e a lagoa de macrófitas uma área de cerca de 18 x 12 m².

As macrófitas usadas nestes leitos são predominantemente lírios amarelos dos pântanos "*iris pseudo acorus*" e "*Scirpus lacustris*" na ETAR de Cagido e espadanas - *Typha latifolia* com alguns juncos dispersos na de Gestosa.

Fotografia de
8 de Janeiro de 1998

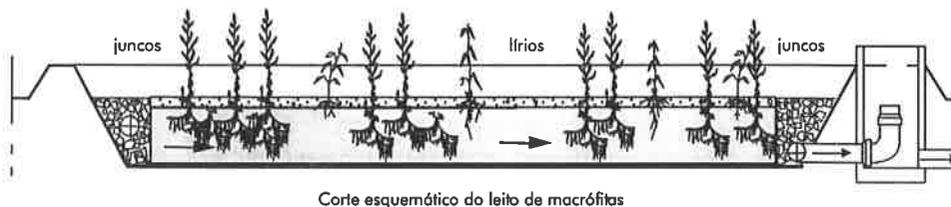


Figura III.1 - Esquema do leito de macrófitas

Nestas lagoas de macrófitas, foi usada a prática que tem sido seguida na maioria dos sistemas já construídos na Região Centro, em que o leito, com uma espessura total de 0,70 centímetros, é constituído por: uma camadas de solo arável à superfície, uma camada intermédia de areia grossa e gravilha, ou areão, junto ao fundo, (conforme esquema junto). Esta camada tem funcionado como medida de precaução, por forma a evitar a colmatção, nos primeiros anos de funcionamento, sabendo-se que se corre o risco de se poder diminuir a eficiência do sistema, em troca de não se correrem grandes riscos de colmatção inicial.

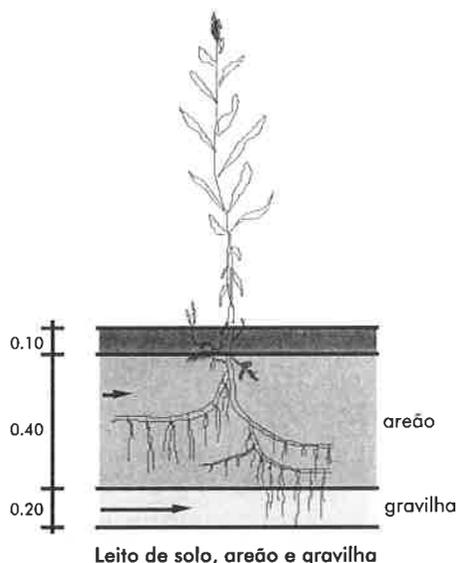


Figura III.2 - Pormenor do leito poroso

A utilização de uma camada de solo arável na superfície tem como função primordial favorecer a adaptação das plantas (transplantadas) ao seu novo meio e evitar, ou dificultar, que em zonas da lagoa menos inundadas, a excessiva evaporação origine a morte das plantas por seca além de poder evitar a proliferação de insectos. Esta camada terá permitido que na ETAR de Gestosa, as plantas não acusassem sinais de falta de água no Verão de 1998, apesar do caudal afluente ser, em alguns períodos, quase nulo.

Em ambos os sistemas usaram-se leitos de forma rectangular. Em Cagido o comprimento é cerca do dobro da largura (*no projecto era ligeiramente superior*) e em Gestosa o comprimento é *cerca de 1,5 da largura*.

3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS LEITOS DE MACRÓFITAS

Na lagoa de macrófitas do Cagido, os lírios atingiram um bom desenvolvimento vegetativo no fim da Primavera, embora sem grande proliferação por terem sido plantados com afastamentos superiores aos recomendados, tendo os juncos mostrado menor desenvolvimento. Estes, sofreram uma grande mortalidade no Inverno passado, ao que se julga por o operador ter subido demasiado o nível da água no leito. Durante o primeiro ano de funcionamento o terreno à superfície apresentava alguma humidade, mas sem estar encharcado.

Relativamente à lagoa da Gestosa, no fim da Primavera existiam zonas com razoável desenvolvimento vegetativo, principalmente onde houve o transplante das espadanas, e zonas com mau desenvolvimento vegetativo, onde predominavam os juncos. Durante o primeiro ano de funcionamento o terreno à superfície apresentou-se ligeiramente encharcado no Inverno e na Primavera, tendo no Verão, mostrado pouca humidade, por o caudal afluente ter sido diminuto.

Em qualquer dos leitos, as plantas ainda não apresentaram durante 1998 desenvolvimentos e densidades suficientes para se atingirem rendimentos máximos⁽³⁾.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO CONTROLO EFECTUADO

Os resultados das análises efectuadas⁽⁴⁾ estão indicados nos quadros III.1 e III.2 das páginas seguintes. Sobre estes apresentam-se as seguintes considerações.

1 - Os resultados que se apresentam referem-se apenas ao controlo do leito de macrófitas⁽⁵⁾.

2 - Foi notório que há grande variação dos caudais afluentes à ETAR de Cagido 1, consoante as condições meteorológicas. Em dias de chuva afluíam caudais muito superiores aos que chegavam à estação em dias secos, o que indicia a existência de ligações de águas pluviais (provavelmente de pátios ou de telhados) à rede de águas residuais domésticas. Esta situação poderia ter provocado inundações superficiais, tanto mais que a lagoa de macrófitas tem dimensões inferiores às do projecto.

3 - Os caudais afluentes à ETAR de Gestosa eram normalmente bastante inferiores aos teoricamente previsíveis (veio a saber-se que durante 1998, havia ainda poucos ramais domiciliários ligados, o que justifica os rendimentos muito bons verificados na remoção de CBO_5 e CQO).

4 - A variação qualitativa dos caudais afluentes a ETAR de Cagido 1, nomeadamente em termos de CQO e nutrientes, indicia a existência de ligações clandestinas de explorações pecuárias que se sabe existem nesta povoação.

Verificou-se uma melhoria do funcionamento da ETAR, particularmente em termos de remoção de nutrientes, com o tempo seco, no entanto, como as análises só incidiram sobre as lagoas de macrófitas, não é possível determinar o rendimento global da ETAR.

Quadro III.1 - Análises da ETAR do Cagido 1

Entidade Requisitante:	Câmara Municipal de Santa Comba Dão
Tipo de ETAR:	Fossa Séptica + Lagoa de Macrófitas
Amostragem:	Simplex
Dados actuais:	
Caudal Médio Diário (m ³ /d):	20
População Servida (hab.):	200

ANÁLISES

Análise efectuada em:

98/01/14	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	230	40	82.6
CQO	500	327	34.6
SST	80	52	35.0
N total	21.5	20.5	4.7
P total	19.4	19.4	—

98/02/16	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	360	140	61.1
CQO	788	300	61.9
SST	126	27	78.6
N total	134	34	74.6
P total	26.4	20.8	21.2

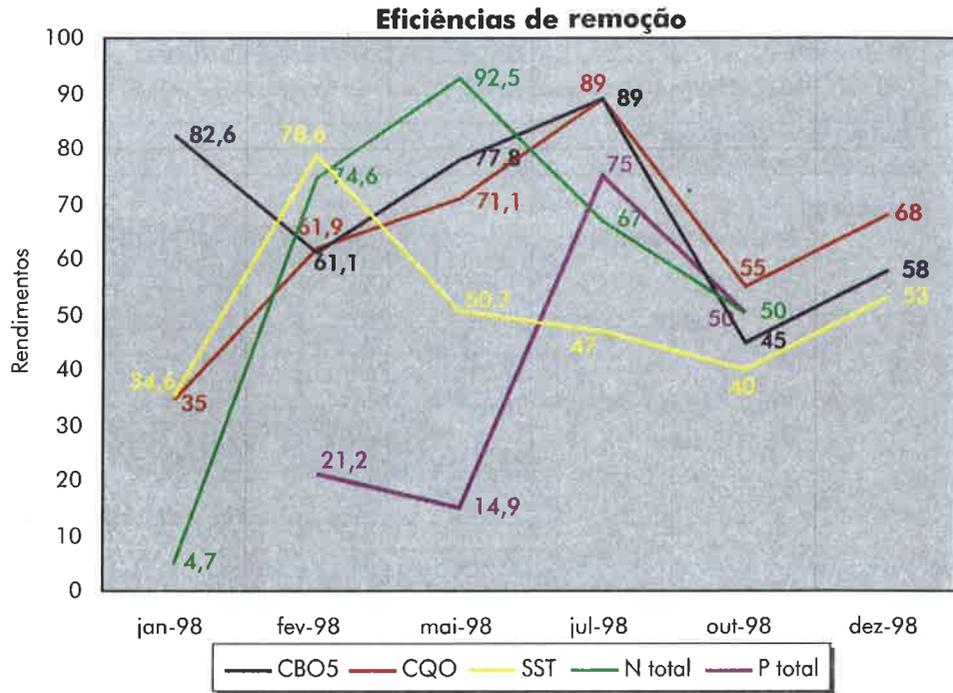
98/05/07	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	135	30	77.8
CQO	875	253	71.1
SST	150	74	50.7
N total	80	6	92.5
P total	27.7	23.6	14.9

98/07/20	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	250	28	89
CQO	1100	125	89
SST	130	69	47
N total	30	10	67
P total	4	1	75

98/10/08	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	380	208	45
CQO	575	260	55
SST	108	64	40
N total	60	30	50
P total	25	13	50

98/12/30	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	360	150	58
CQO	635	200	68
SST	148	70	53
N total	44	—	—
P total	40	—	—

Figura III.3 - Aspecto do leito de macrófitas de Cagido I e eficiências



Aspecto da lagoa em 08/01/98



Aspecto da lagoa em 18/06/98

Quadro III.2 - Análises da ETAR da Gestosa

Entidade Requisitante:	Câmara Municipal de Santa Comba Dão
Tipo de ETAR:	Fossa Séptica + Lagoa de Macrófitas
Amostragem:	Simplex
Dados actuais:	
Caudal Médio Diário (m³/d):	10
População Servida (hab.):	100

ANÁLISES

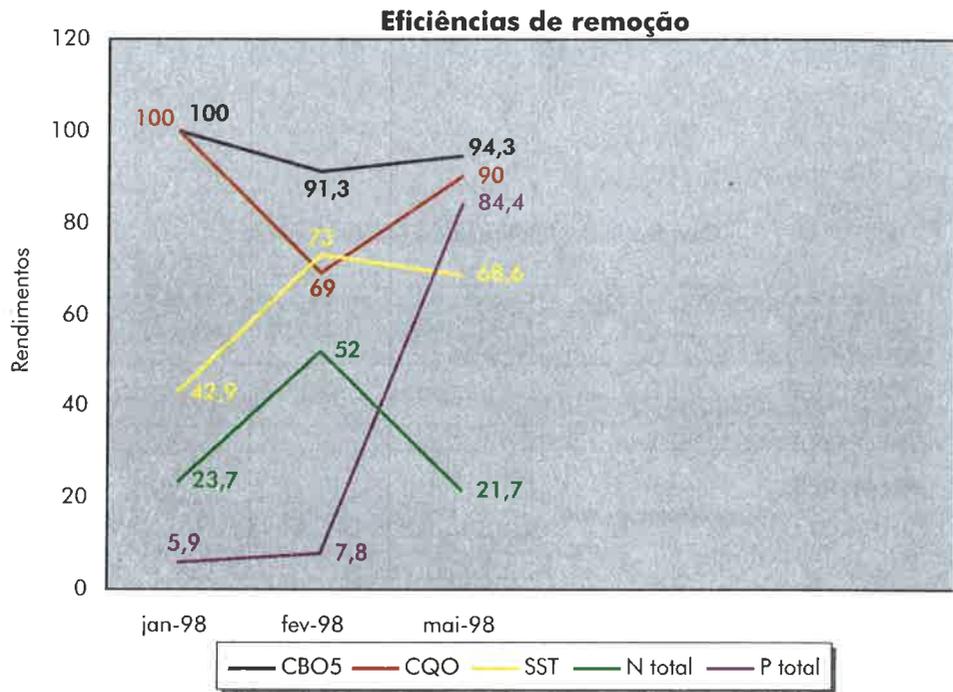
Análise efectuada em:

98/01/14	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	10	<1	100
CQO	25	<1	100
SST	14	8	42.9
N total	5.9	4.5	23.7
P total	0.85	0.8	5.9

98/02/16	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	80	7	91.3
CQO	87	27	69
SST	37	10	73
N total	10	4.8	52
P total	2.05	1.9	7.8

98/05/07	Entrada (mg/l)	Saída (mg/l)	Eficiência %
CBO	35	2	94.3
CQO	100	10	90
SST	35	11	68.6
N total	8.3	6.5	21.7
P total	0.9	0.14	84.4

Figura III.4 - Aspecto do leito de macrófitas da Gestosa e eficiências



Aspecto da fossa séptica e da lagoa ao fundo



Desenvolvimento vegetativo na lagoa

5 CONCLUSÕES

Apesar de estarmos perante leitos de macrófitas ainda muito jovens, já se podem verificar rendimentos bons, a muito bons, na remoção de CBO_5 , CQO e SST, e rendimentos bons na remoção de azotos na lagoa de Cagido (a única que já apresenta funcionamento em vias de estabilização) sempre que os caudais que afluem à lagoa estejam dentro dos valores teóricos. Note-se que a concentração de CBO_5 , CQO e fósforo, afluentes a esta lagoa em dias de chuva, são um pouco (ou muito) superiores ao que seria de esperar. Situação semelhante foi verificada para o azoto em Fevereiro. Estas situações, como se referiu, fazem-nos pensar na existência de ligação de efluentes de agro-pecuárias a este sistema de tratamento – o que tem vindo a ser pesquisado.

A permeabilidade do meio usado permitiu que, na ETAR de Cagido, não se tivessem verificado inundações, nem mesmo nos dias de chuva em que afluíam caudais muito superiores aos teóricos.

Como a rede de Gestosa ainda tinha poucos ramais domiciliários em funcionamento, o que originava que os caudais afluentes à lagoa em estiagem eram diminutos, os resultados do controlo desta, devem ser considerados como referidos a um leito de macrófitas com grande tempo de retenção. O controlo que foi retomado recentemente irá permitir uma avaliação mais completa.

Pode concluir-se que as espadanas e os lírios amarelos dos pântanos, adaptam-se mais rapidamente após a plantação e apresentaram menores taxas de morte (seca) do que os juncos.

Considera-se que se deverão explorar melhor as potencialidades do lírios dos pântanos (*iris pseudo acorus*), uma vez que são plantas bem adaptadas a estes meios húmidos, que se enquadram muito bem na paisagem e que na época da floração dão bonitas flores, podendo por isso contribuir para tornar mais atractivos, para os cidadãos, estes sistemas de tratamento de águas residuais.

Os resultados já obtidos no controlo destes leitos de macrófitas, bem como em outros em início de acompanhamento, constituem um incentivo a continuar e aprofundar os estudos sobre este tipo de sistemas, que virão, estamos certos, a demonstrar a sua real valia e interesse: quer associados a fossas sépticas e tanques Imhoff para o tratamento dos efluentes dos pequenos aglomerados urbanos do Interior do País, quer como órgãos de afinação de efluentes e remoção de nutrientes em ETARs secundárias.

Referências e notas

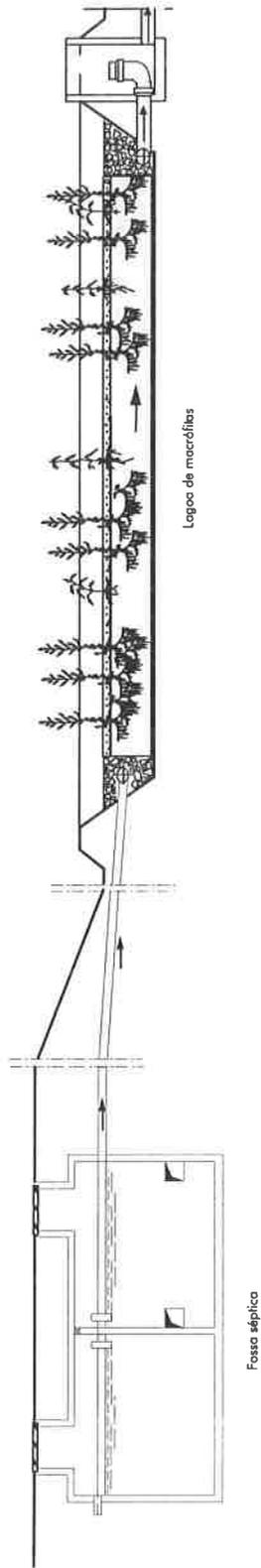
- (1) Na Região Centro, existem algumas destas unidades em funcionamento há mais tempo, uma das quais desde 1993 como tratamento terciário.
- (2) No projecto estava previsto que o leito de macrófitas tivesse $30 \times 14 \text{ m}^2$.
- (3) Esta questão leva-nos a recomendar que se plantem as macrófitas com afastamento de 25 a 30 centímetros, não mais.
- (4) As análises foram efectuadas no laboratório do CESAB - Centro de Serviços de Ambiente, cuja colaboração se salienta e agradece.
- (5) Apesar de algumas vezes se ter controlado também a fossa séptica de Cagido, não se apresentam esses resultados por não terem sido determinados com regularidade, por alguns deles repercutirem as condições meteorológicas do dia anterior ao da recolha das amostras e, por o nosso objectivo, ser a avaliação do funcionamento dos leitos de macrófitas.

Bibliografia

- ARMSTRONG, J and ARMSTRONG W. (1988) - *Pragmites Australis* - A preliminary study of soil oxidizing sites and internal gas transport pathways, *New Phytol*, 108, 373-382.
- BOWMER, K.H. (1985) - Detoxification of effluents in a macrophyte treatment system, *Water Res.*, 19, 57.
- BRIX, Hans (1987) - Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - The root zone method, *Wat. Sci. Tech.*, 19, 107-118.
- BRIX, Hans (1989) - *Gas exchange through dead culms of reed (Pragmites australis)* *Aquat Bot.*
- BRIX, Hans and SCHIERUP, H. - *The use of Aquatic Macrophytes in Water-Pollution Control*, 1989.
- CONLEY, Lucy M., DICK, Richard I., LION, L. W. (1991) - An Assesment of the root zone method of wastewater treatment, *R. J. WPCF*, vol. 63, 3.
- GERSBERG, R.M., ELKINS, B. V. and GOLDMAN, C.R. (1984) - Wastewater treatment by artificial wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 17, 443-445.
- HANSEN, J.I., and ANDERSON, F.O. (1981) - *Effects of phragmites australis roots and rizomes on redox potenciales, nitrification and bacterial numbers in sediments*, A. Broberg and T. Tiren (Eds), Sweden, 72.
- IMHOFF, Karl (1966) - *Manual de tratamento de águas residuais*, Ed. Edgard Blucher Ld^o, S. Paulo.
- NICHOLS, D.S. (1983) - Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. *J. water Pollut. Control Fed.*, 55, 495-504.
- RE, Marcos (1996) - *Lagoas, macrófitas emergentes no tratamento de águas residuais domésticas*, Projecto NORSPA 90-Bi, Novembro.
- REED, S.C., and CRITES, R.W. (1984) - *Handbook of land treatment systems for industrial and Municipal wastes*, Noyes Pub., Park Ridge, N. J..
- Reed, S.C., Middlebrooks, E. J. and Crites, R.W. (1988) - *Natural systems for waste management and treatment*, McGraw-Hill Book Company, N. Y., 308 p.
- RELVÃO, A. Machado (1994) - *Tecnologias adequadas para o tratamento de águas residuais de Pequenos Aglomerados Urbanos*. Coimbra, DRARN Centro.
- RIBEIRO, A. Costa e RELVÃO, A. Machado (1989) - *Estações de tratamento de águas residuais para Aglomerados com menos de 5 000 Habitantes*, Coimbra, CCR Centro.
- WATSON, J.T., et al. (1986) - *Design and performance of artificial wetland wastewater treatment plants at Iselin*, Pennsylvania, Conf. Res. Appl. Aquatic Plants for Water Treatment and Resour. Recovery, Orlando, Fla.
- WATTENHOFER, R. (1980) - *L'assimilation- fixation de nutriments avec une culture experimentale de macrophytes (phragmites australis) dans le but d'épurer des eaux usées*. *Gas Wasser Abwasser*, 60(5), 190-195.

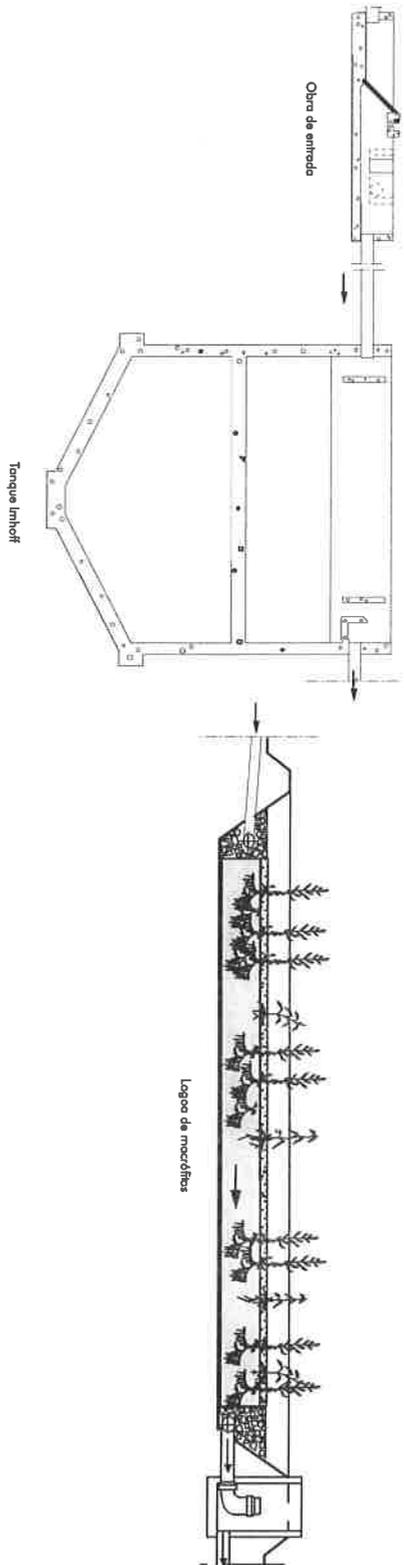
ANEXOS

I - Sistema de tratamento constituído por fossa séptica + lagoa de macrófitas



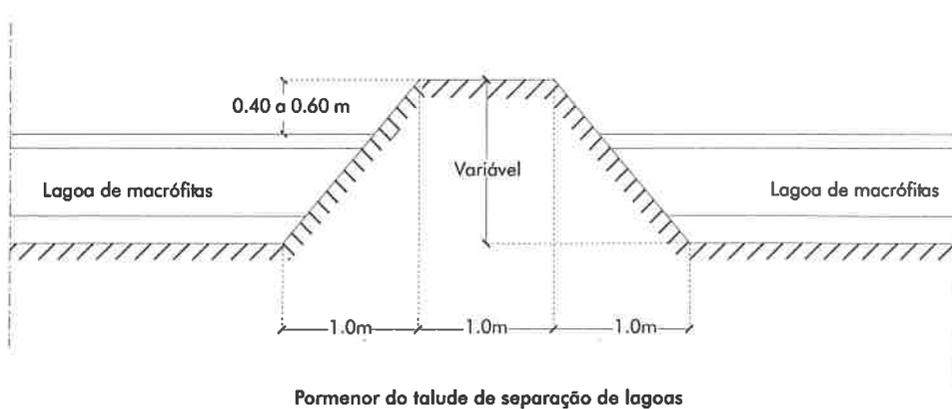
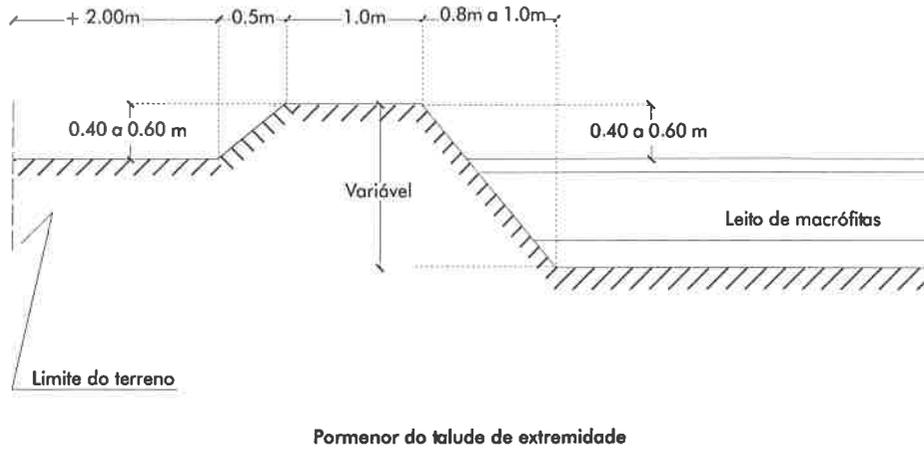
Perfil hidráulico - esquema

II - Sistema de tratamento constituído por obra de entrada + tanque Imhoff + lagoa de macrófitas

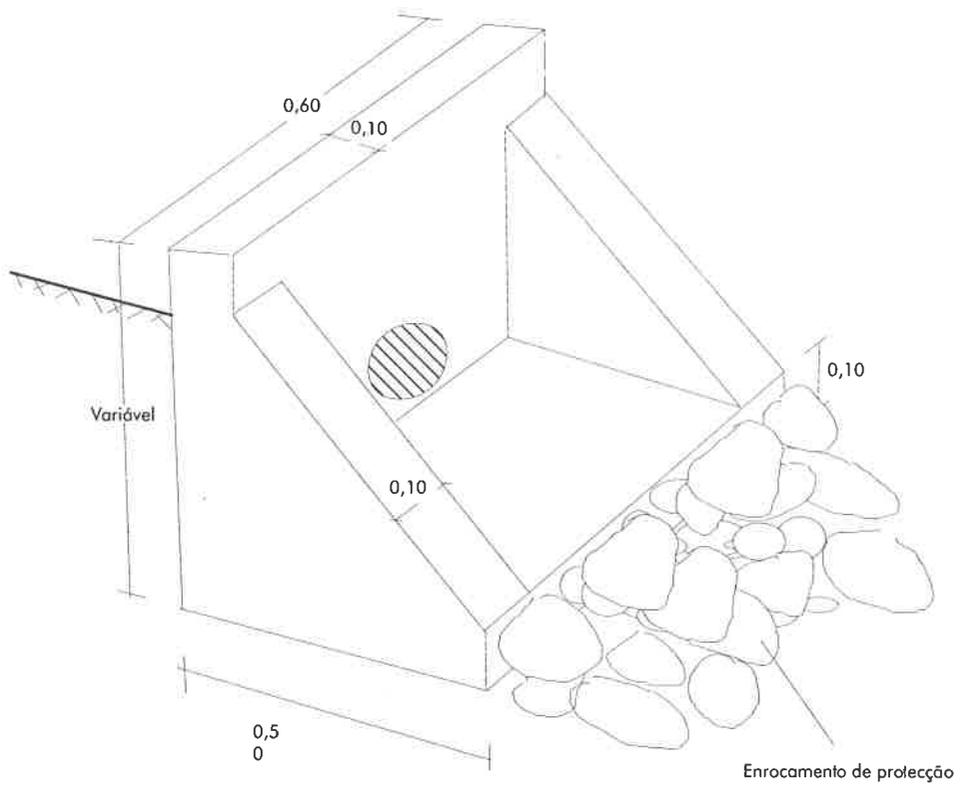


Perfil hidráulico - esquema

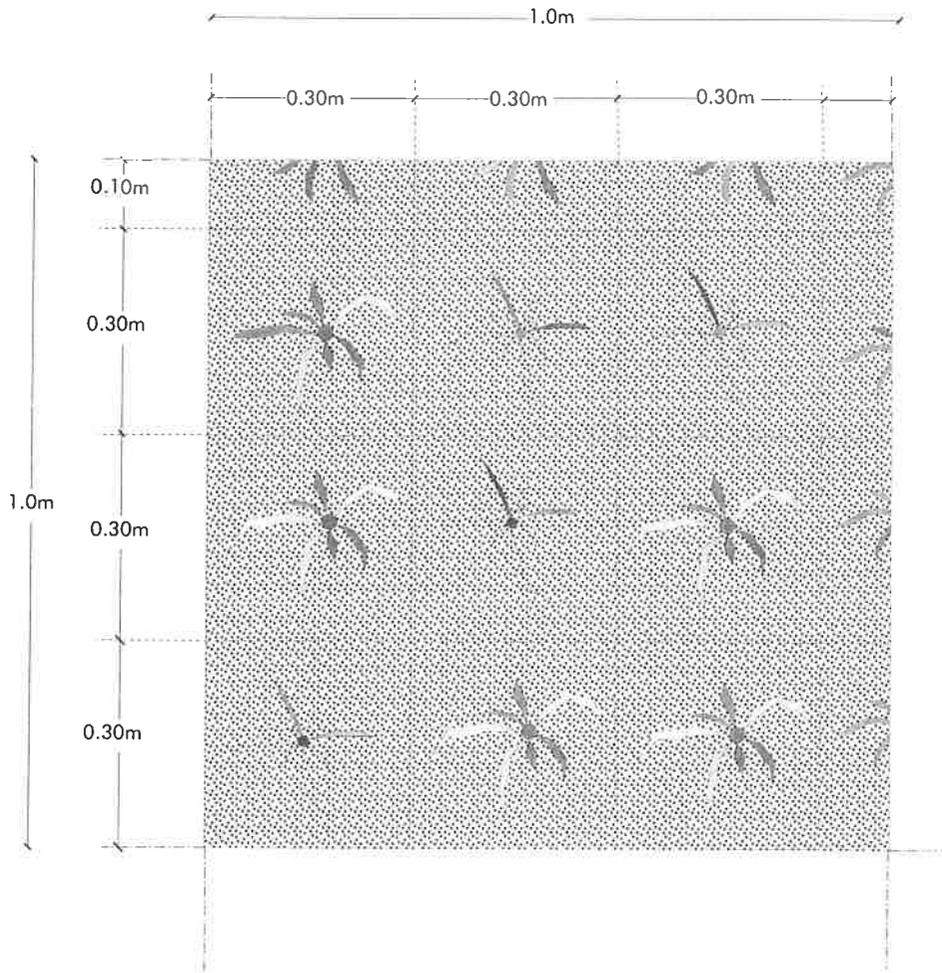
III - Pormenores dos taludes

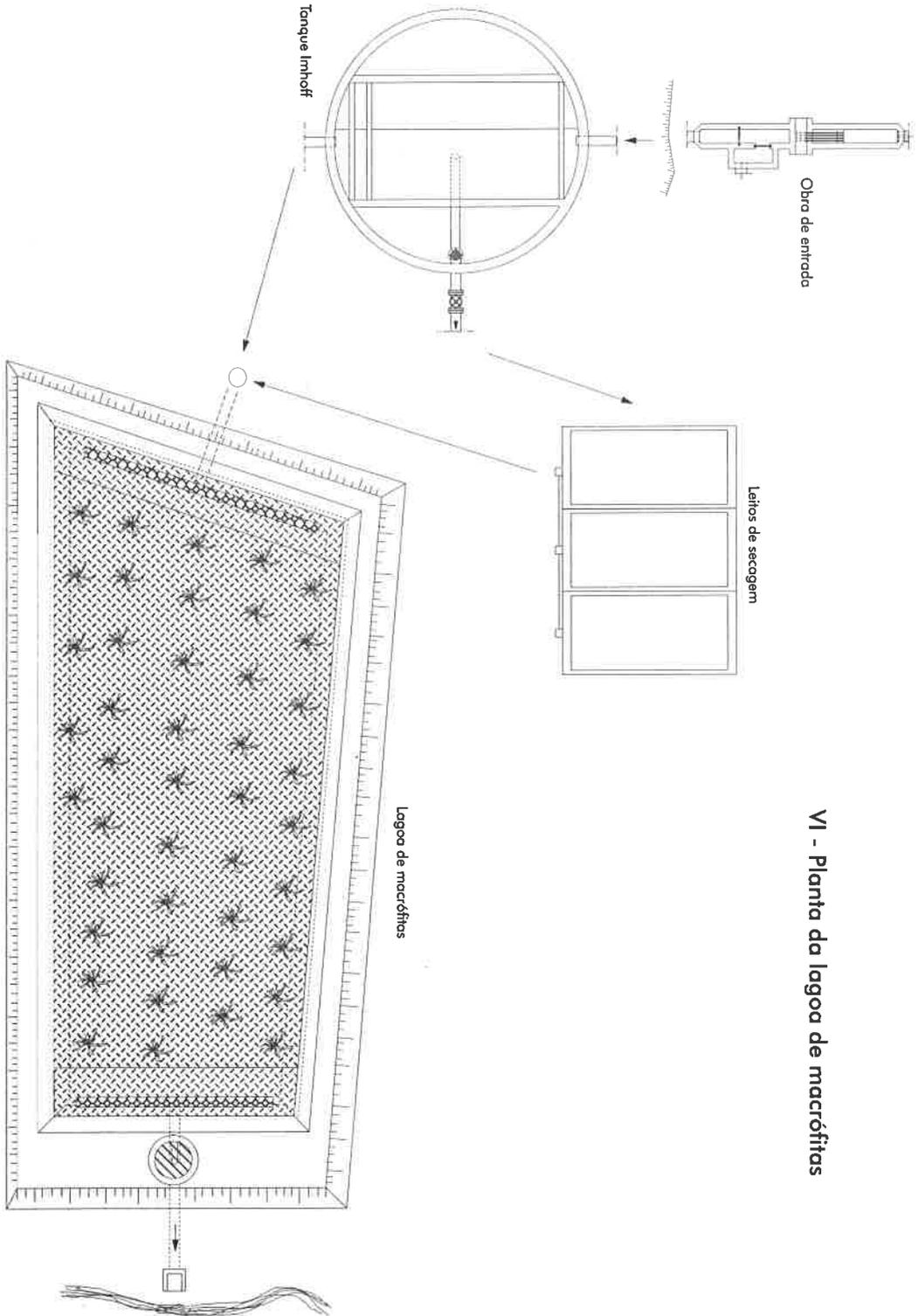


IV - Caixa de saída tipo



V - Distribuição das plantas na lagoa





VI - Planta da lagoa de macrófitas

