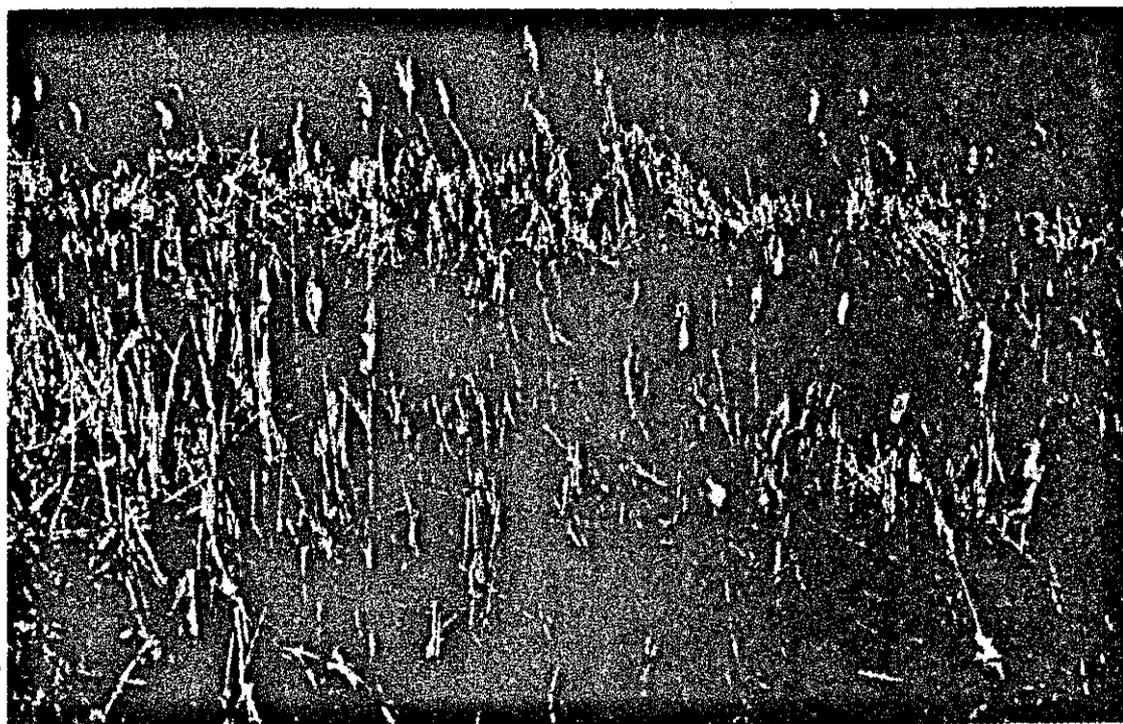
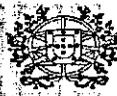


TECNOLOGIAS ADEQUADAS
PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS
DE PEQUENOS AGLOMERADOS URBANOS



S.



R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE

DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água



**Tecnologias adequadas para o
tratamento de águas residuais de
pequenos aglomerados urbanos**

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LAGOAS DE MACRÓFITAS

Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Centro

Direcção de Serviços da Água

2ª. Versão - Coimbra, 1997

(1ª. Versão de 1994/5)

INDÍCE

Resumo	3
I - Introdução	4
II - Tratamento de Águas Residuais por Lagoas de Macrófitas	9
1- Apresentação.....	9
2- O Meio.....	10
3- As plantas.....	13
4- Dimensionamento.....	14
III - Conclusões	16
IV - Aplicação Práctica	17
Aplicação I (Fossa Séptica e Lagoa de Macrófitas)	19
1- Campo de aplicação.....	19
2- Dimensionamento.....	19
Aplicação II (Obra de entrada, Tanque Imhoff, Lagoa de Macrófitas e Leitões de Secagem de Lamas)	22
1- Campo de aplicação.....	22
2- Dimensionamento.....	22
V - Procedimentos de manutenção	24
Bibliografia	28

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

I - 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 tem 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 nº23/95 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 191º do atrás citado regulamento ⁽²⁾.

No tratamento das águas residuais 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" [Engº A. Queirós de Morais].

Não obstante este livro ter já alguns anos, consideramos que se poderão continuar a usar muitas das técnicas nele propostas, nomeadamente o tratamento primário de efluentes com recurso a fossas sépticas.



S. R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE

DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

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

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 novo Regulamento.

A experiência demonstra por outro lado, que são reduzidos os locais onde este tipo de órgãos complementares podem ser usados sem provocarem problemas ambientais.

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.

Apresentam ainda a grande vantagem de permitirem uma boa digestão das lamas, o que possibilita que estas possam ser secas em leitos de secagem.

Deverá ficar reservada a utilização de fossas sépticas para aglomerados de pequena dimensão, de preferência com não mais de 300 a 350 habitantes residentes, e sempre para populações presentes inferiores a 500 habitantes equivalentes, seguindo de perto o que em tempos foi recomendado pela ex-Direcção Geral de Saneamento Básico, e é comum encontrar em vários outros países europeus.

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, resultante normalmente de uma exploração e gestão de lamas incorrecta, indo afectar a operação da decantação reduzindo a sua eficiência.



S. R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
 DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO
 Direcção de Serviços da Água

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

- se dimensionem as fossas sépticas para períodos de retenção nunca inferiores a três dias, usando orgãos de dois ou três compartimentos;
- se proceda à remoção das lamas pelo menos de dois em dois anos, não as retirando na totalidade, mas antes deixando uma pequena quantidade no fundo, e 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 superior a 250 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.

Como orgãos complementares de tratamento, constituindo um tratamento secundário, ou mesmo terciário, poderão usar-se, conforme adiante se desenvolverá, lagoas de macrófitas emergentes.

O recurso a estas lagoas, para tratar, ou para complementar o tratamento de águas residuais, tem vindo a ser desenvolvido desde há uma década, sendo já muito usado em países como a Dinamarca, França ou os E.U.A.

Várias investigações vieram demonstrar que as lagoas de macrófitas emergentes, podem proporcionar uma purificação da água e uma eficiente remoção de nutrientes [Nichols, 1983].

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

- Baixos custos de construção;
- Baixos custos de conservação;
- Dispensam quaisquer equipamentos;
- São de manutenção simples, por constituírem sistemas de baixa tecnologia,

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

podendo ser mantidos por pessoal não qualificado;

- Apresentam uma perfeita integração paisagística.

O único inconveniente a considerar prende-se com a exigência de terreno com área razoável para a implantação das lagoas.

Conforme adiante se apresenta, a utilização de lagoas de macrófitas, pode constituir um sistema extremamente útil 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/ou quando seja importante a remoção de poluição microbiológica ⁽⁵⁾.

Para terminar esta introdução, importa igualmente reafirmar 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, são constituídas por órgãos mais ou menos

delicados, exigindo como qualquer outro equipamento, 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 nossas 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 reparação 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.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

(1) No âmbito deste trabalho, considera-se pequeno aglomerado urbano aquele cuja população residente (acrescida da flutuante) não ultrapassa em regra os 600 a 800 habitantes.

constituídos pela associação de uma lagoa facultativa seguida de uma lagoa de maturação, poderão constituir uma boa opção para pequenas povoações.

(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.

(3) Deve ser prestado especial cuidado aos aspectos construtivos, garantindo nomeadamente a estanquicidade e, evitando-se o seu abandono posteriormente à construção.

(constitui objectivo)
(4) Não se pretende a abolição pura e simples dos chamados tratamentos complementares (por poços absorventes ou por trincheiras filtrantes) propostos no livro citado 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) 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 climáticas locais, os sistemas

II - TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LAGOAS DE MACRÓFITAS

1- Apresentação

Designa-se por lagoas de macrófitas, ou campos de macrófitas emergentes⁽⁶⁾ um sistema constituído por uma pequena depressão, normalmente escavada no terreno (ou lagoa), com o fundo impermeável, parcialmente cheia de material permeável (solo arenoso, gravilha calcárea, areão ou areia grossa), levando 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, normalmente da família das canas^{es} (*phragmites*), da família dos juncos (*scirpus*) ou ainda do género *Typha* ^{estadanas} ⁽⁷⁾.

Desde há alguns anos tem havido um interesse considerável na utilização de 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 [Conley e al., 1991].

O sistema de tratamento de águas residuais por lagoas de macrófitas, constitui um método de tratamento consistindo em fazer passar aquelas, normalmente depois de pré-decantados em decantadores ou fossas sépticas, por um meio poroso, em fluxo horizontal, que aqui se designa por lagoa, onde se desenvolvem plantas hidrófitas: as macrófitas⁽⁸⁾.

Durante a passagem da água residual através do meio poroso e das raízes e rizomas das macrófitas, ocorre um fenómeno de filtração acompanhado duma remoção de nutrientes, particularmente de azoto e fósforo, conjuntamente com uma redução dos microorganismos patogénicos⁽⁹⁾.

Na maior parte dos sistemas de tratamento dispondo de lagoas 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 .

(6) Em inglês - "root zone bed".

(7) 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.

(8) A utilização de lagoas de macrófitas, sem serem precedidas de pré-tratamento, não se recomenda por apresentarem normalmente problemas de colmatação, com a subsequente libertação de maus odores e proliferação de insectos.

(9) As lagoas de macrófitas, nomeadamente com plantas do género "typhas" podem também oferecer bons resultados na remoção de metais pesados.

2- O Meio

O Meio, ou leito das lagoas é responsável pela remoção dos poluentes, quer directamente através de fenómenos físicos, nomeadamente de sedimentação dos sólidos suspensos, quer através de fenómenos químicos pela 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) [Brix, 1987], 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 porosos 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 colmatação.

É no entanto um erro a utilização de leitos muito grosseiros, com a finalidade de reduzir as dimensões das lagoas de macrófitas, porquanto estas são muito pouco eficazes na remoção dos metais pesados e apresentam 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 calcárea poderá evitar esta situação.

A constituição do leito (ou meio), quanto à sua granulometria, pode ser muito variável, havendo mesmo sistemas em funcionamento em alguns países, em que se utilizou o solo local. Este, no entanto, pode acabar por apresentar problemas de colmatação no 1º. ano de funcionamento e mesmo ao fim de varios anos, além de que estas lagoas não admitem senão baixas cargas hidráulicas.

A maioria dos sistemas em funcionamento dispõem de um leito constituído por materiais, garantindo uma boa permeabilidade, como seja um misto de areão gravilha fina e areia, sendo particularmente aconselhavel que, a camada do fundo apresente boa permeabilidade e que a camada superficial seja de solo aravel vulgar.

Há que ter presente, conforme atrás se referiu, que um meio muito poroso admitirá maiores cargas hidráulicas e estará menos sujeito a colmatação, 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 calcárea e areão, podem admitir-se cargas hidráulicas (caudal por unidade de superfície do meio) variando entre 5×10^{-2} a 16×10^{-2} $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

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

No que concerne à estanquicidade da lagoa, há que garantir por um lado a protecção das águas subterrâneas no local, e por outro lado assegurar uma boa alimentação, pela irrigação das plantas ao longo de todo o ano. Assim, é recomendável que se proceda à impermeabilização do fundo e taludes da lagoa, com argila ou com uma tela de polietileno de 1,5 a 2mm de espessura.

Apenas em locais de solo muito argiloso se poderá dispensar a impermeabilização das lagoas.

Deve procurar-se que o fundo da lagoa tenha uma ligeira inclinação, da entrada para a saída, que não deve ser exagerada a fim de ser

possível uma distribuição homogênea das águas residuais em toda a lagoa ⁽¹⁰⁾. A inclinação do fundo pode variar de 0,2% a 5%.

Poderão adoptar-se diversas configurações para as lagoas de macrófitas, por forma a adapta-las á configuração do terreno disponível, sem prejuizo de se assegurarem velocidades de escoamento compatíveis com o tipo de leito. A configuração mais vulgar, acaba por ser leitões de forma rectangular, devendo o comprimento (C) ser superior à largura (L). Leitões 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.

(10) Deve ser possível mediante a regulação da saída, inundar toda a extensão do meio poroso, sem que nas zonas de juzante o líquido tenha que subir acima da camada superior. Inclinações de 0,5% a 1% serão de recomendar.

4- Dimensionamento

O dimensionamento de uma lagoa de macrófitas não é uma operação simples, face aos parâmetros em jogo. Importa no entanto fornecer alguns meios 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 colmatação 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 da lagoa, 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 da lagoa.

Apresenta-se de seguida um conjunto de equações que foram desenvolvidas, na perspectiva da utilização das lagoas de

macrófitas como órgãos de tratamento secundário, visando a produção de um efluente cumprindo as exigências definidas no Decreto-Lei nº 74/90 de 7 de Março, para a descarga de efluentes nos meios hídricos ($CBO_5 \leq 40 \text{ mg/l}$). Desde que se adoptem meios com permeabilidades e comprimentos adequados, os rendimentos na remoção de SST são muito bons, permitindo um efluente final com 40 mg/l ou menos.

Para o cálculo ^{combinado} de uma lagoa de macrófitas, conhecidos que sejam os caudais e a carga orgânica afluenta, poderá determinar-se a superfície do meio (comprimento e largura), e arbitrando-se o tipo de material a empregar e a espessura, calcula-se o volume pela expressão seguinte [Reed e al., 1988]:

$$V = Q(\ln C_a - \ln C_e) / K_t \cdot n$$

onde:

V - volume do leito (volume útil da lagoa) [m^3]

Q - caudal afuente [m^3/d]

C_e - CBO_5 do efluente (saída) [mg/l]

C_a - CBO_5 do afuente (entrada) [mg/l]

K_t - constante dependente da variação da temperatura [d^{-1}]

n - porosidade do meio [m^3 de vazios / m^3 de leito] ⁽¹¹⁾

O valor de K_t pode ser calculado através da expressão ⁽¹²⁾:

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

onde:

K_{20} - relação constante a 20°C;

t - temperatura média de funcionamento da lagoa [°C]

No quadro seguinte, apresenta-se um conjunto de valores de K_{20} adaptados pelo autor, dos citados por Conley e Lucy M. e outros e verificados em situações reais. (10a)

Tipo de leito	K_{20} [d^{-1}]	Tempo de retenção em dias [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.

$$A_s = \frac{Q \cdot (\ln C_a - \ln C_e)}{K_t \cdot e \cdot n}$$

onde:

e - espessura do leito [m] ⁽¹³⁾

Para o cálculo da secção transversal do leito da lagoa pode usar-se a expressão:

$$A_c = Q / (K_s \cdot dH/dC)$$

onde:

A_c - Área da secção transversal do leito [m^2]

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 reia e 4100 m/d para a gravilha grossa.

O gradiente hidráulico dH/dC representa a energia perdida pela corrente ao percolar através do leito poroso. Reed e al.,



MINISTÉRIO DO AMBIENTE
 DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO
 Direcção de Serviços da Água

III - 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 que, encontrando-se já suficientemente testadas, se adaptem às nossas características fisiográficas 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 lagoas de macrófitas como tratamento complementar, podem constituir uma boa opção, quando analisadas, quer sob o prisma do investimento inicial quer quanto aos baixos custos de exploração, quer ainda no referente à qualidade final do efluente.

As lagoas 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, particularmente quando se torne importante a remoção dos nutrientes.

As lagoas de macrófitas desde que sujeitas a um controle correcto do nível de saída do efluente, que impeça a inundação superficial, não apresentam quaisquer problemas com cheiros ou com proliferação de insectos.

Na medida em que se enquadram perfeitamente no meio envolvente, permitem reter os nutrientes nas plantas, que depois de cortadas podem ser usadas na alimentação animal ou incorporadas no solo, estes sistemas constituem soluções "ambientalmente correctas."

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

IV - APLICAÇÃO PRACTICA

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 depara o dia a dia das autarquias deste País, nomeadamente no respeitante ao tratamento de efluentes domésticos de pequenos aglomerados urbanos.

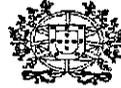
De facto, a carência técnica em termos do campo tão específico dentro do saneamento básico, que é o tratamento de efluentes residuais, tem provocado situações de aplicação incorrecta de sistemas depuradores em pequenas povoações, indo desde os mais rudimentares com a consequente ineficiência de tratamento, aos mais sofisticados, com os inerentes custos de manutenção e exploração, além de outros factores 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 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 os parâmetros exigidos na legislação nacional, mas que acima de tudo garantam um índice de satisfação das populações servidas por estes sistemas.

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



MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO
Direcção de Serviços da Água

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.

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 eventualmente complementarão aqueles órgãos de depuração primária, como a seguir se verá.



S. R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE

DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

APLICAÇÃO I

Fossa séptica
Lagoa de macrófitas

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 100 e os 350 habitantes, tendo em atenção não só a tradicional apetência dos serviços técnicos camarários pelas fossas sépticas tão vulgares no nosso País, como também pelas eficiências do tratamento que esta associação de órgãos traduz no efluente final, e pelos 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- Dimensionamento

Assumindo que os dados de base para a concepção do sistema depurador são os que a seguir se apresentam (quadro I.1) e que o rendimento de uma fossa séptica em termos biológicos ronda os 25%, i.é ao serem conhecidos os caudais a tratar e a carga orgânica afluyente, consideram-se os seguintes parâmetros de projecto:

• Concentração máxima admitida de CBO_5 do efluente: $C_e = 40 \text{ mg/l} \text{ dia} (= 25 \text{ } \mu\text{g/l})$

• Porosidade média do meio poroso de gravilha calcárea e areia grossa:

$$n = 0,30 \text{ m}^3 \text{ de vazio / m}^3 \text{ de leito}$$

• Consideraram-se temperaturas médias de dimensionamento de 15°C e 20°C conforme os locais de implatação das lagoas (zonas interiores e litorais respectivamente), influenciando a constante K_t , dependente da temperatura T: ($K_{20} = 0,98 \text{ a } 0,76$)

para: $T = 20^\circ\text{C}$ $K_t = 0,98 \text{ dia}^{-1} \text{ a } 0,78$
 $T = 15^\circ\text{C}$ $K_t = 0,732 \text{ dia}^{-1} \text{ a } 0,68$

Outro factor a ter em conta no imensionamento das lagoas prende--se com a

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

altura útil do seu meio poroso (que se aconselha ser de 0,60m).



Fig. Altura útil do leito da lagoa de macrófitas

Da consideração dos dados de base atrás referidos, aplicados às expressões de dimensionamento apresentadas na memória deste trabalho, chega-se às áreas úteis de dimensionamento das lagoas de macrófitas, tendo em conta o número de habitantes a servir, a altura útil do leito poroso e a temperatura média, resultando os valores resumidos no quadro da folha seguinte.



S. R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE

DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

Exemplo de dimensionamento - Sistema Fossa septica seguida de leito de macrófitas emergentes (escoamento horizontal - subsuperficial)

Parâmetros	Unidades	ano 20	ano 0	ano 20
População	hab.	150	300	300
Capitação (águas residuais)	l/hab.dia	120	100	130
Coefficiente de afluência		0,80	0,80	0,80
Caudal médio diário	m ³ /dia	14,40	24,00	31,20
Caudal de infiltração (1/2 Qm)	m ³ /dia	7,20	12,00	15,60
Carga orgânica unitária	gr CBO ₅ /hab.dia	54	54	54
Carga orgânica diária total	Kg CBO ₅ /dia	8,1	16,20	16,20
Concentração de CBO ₅	mg/l	375,00	450,00	346,15
Eficiência de tratamento na fossa séptica	%(CBO ₅)	25%	30%	30%
Concentração de CBO ₅ á entrada da lagoa	mg/l	282,00	315,00	242,31
Concentração de CBO ₅ á saída da lagoa	mg/l	40,00	40,00	25,00
Constante Kt	d-1	0,78	0,67	0,67
Porosidade (n)	m ³ /m ³	0,30	0,30	0,30
Espessura do leito e)	m	0,60	0,60	0,65
Área superficial resultante (*)	m ²	430,50	820	1030
Nº de lagoas a adoptar	un.	1	1	2
Dimensões do fundo interior das lagoas	mxm	24x18	33x25	33x25 18x18
Área superficial final (As)	m ²	(432)	(825)	(1149)

(*) $As = Q \cdot (\ln Co - \ln Ce) / Kt \cdot e \cdot n$ Q₁₄

A área transversal deverá ser pelo menos de:

$$At = 46,8 / 300 \cdot 0,015 = 10,4m^2$$

⊗ - O valor K_t deverá ser determinado para as condições de clima

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

APLICAÇÃO II

Obra de entrada
Tanque Imhoff
Lagoa de macrófitas
Leitos de secagem

a seguir se apresentam (quadro I.2) e que o rendimento de um tanque Imhoff com obra de entrada a montante em termos biológicos ronda os 35%, i.é ao serem conhecidos os caudais a tratar e a carga orgânica afluyente, e considerando os mesmos parâmetros de projecto já referidos para a aplicação I, resulta o dimensionamento expresso no quadro da folha seguinte.

1- Campo de aplicação

A opção por este sistema justifica-se para intervalos populacionais compreendidos entre os 350 e os 700 habitantes, tendo em atenção não só as eficiências do tratamento que levam a uma boa qualidade do effluente 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- Dimensionamento

Assumindo que os dados de base para a concepção do sistema depurador são os que

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

Parâmetros	Unidades	Dados de base					
		400	500	600	700	800	900
População	hab.	400	500	600	700	800	900
Capitação	l/hab.dia	150	150	150	150	150	150
Coefficiente de afluência		.80	.80	.80	.80	.80	.80
Factor de ponta		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Caudal médio diário	m ³ /dia	48,00	60,00	72,00	84,00	96,00	108,00
Caudal médio horário	m ³ /hora	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
Carga orgânica unitária	CBO5/hab.	56	56	56	56	56	56
Carga orgânica diária total	Kg CBO5/dia	22,40	28,00	33,60	39,20	44,80	50,40
Concentração de CBO5	mg/l	466,67	466,67	466,67	466,67	466,67	466,67
Carga orgânica unitária em S	gr/hab.dia	90	90	90	90	90	90
Carga orgânica total em SST	Kg SST/dia	36,00	45,00	54,00	63,00	72,00	81,00
Concentração em SST	mg/l	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00
Temperatura média operacã	°C	20	20	20	20	20	20

Dimensionamento das lagoas de macrófitas (precedidos de T.I.)

Eficiência de tratamento da F	%	35	35	35	35	35	35
Concentração CBO5 à entra	mg/l	303,35	303,35	303,35	303,35	303,35	303,35
Concentração CBO5 à saída	mg/l	20	20	20	20	20	20
Constante Kt (\leq)	d-1	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Porosidade (n)	m ³ /m ³	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Espessura do leito (e)	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Resultados

Área superficial da lagoa	m ²	863,2	1079,0	1295	1511	1726	1942
nº de lagoas adoptadas	un.	2	2	2	3	3	3
Dimensões do fundo interior	mxm	24x20	26x22	29x24	25x25+ 2x 25x19	28x28+ 2x 25x21	30x30+ 2x 28x22
Área superficial final	m ²	960	1144	1392	1575	1834	2132

Quadro 1.2

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO
Direcção de Serviços da Água

**V - PROCEDIMENTOS DE
MANUTENÇÃO**

Para finalizar esta apresentação consideram-se umas breves noções sobre procedimentos de manutenção a ter com as diversas componentes dos sistemas depuradores atrás apresentados.

5.1- Lagoa de macrófitas

- No início do funcionamento da lagoa de macrófitas, esta deve ser cheia de água, de modo a evitar a morte das plantas macrófitas, enquanto os afluentes provenientes do órgão de tratamento primário não afluem à lagoa.
- 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 provocaria o aparecimento de cheiros e a proliferação de mosquitos.
- A lagoa de macrófitas deve ser inspeccionada, no mínimo, duas vezes por anos, de modo a verificar-se se a percolação

decorre com normalidade, ou se, pelo contrário, se detetam indícios de colmatação da lagoa. Neste caso, deve proceder-se de imediato, à remoção e lavagem da brita da entrada e limpeza do tubo perfurado.

- Deve proceder-se ao corte e remoção de poliantas velhas e ao excesso de plantas, pelo menos uma vez por ano, incorporando-as no solo, utilizando-as para alimentação animal, ou queimando-as após secas ao sol.
- 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.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

5.2- Fossa séptica

publicação atrás referida do Eng^o Álvaro Queirós de Morais.

• Ainda neste campo de procedimentos de manutenção e mesmo de construção de fossas sépticas, devem ser seguidos os ensinamentos do Eng^o Álvaro Queirós de Morais, 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 pantanosas ou de provável inundação.

• As fossas sépticas tem de ser estanques, devendo ser cheias e ensaiadas com água imediatamente após a sua construção, não se procedendo ao seu posterior esvaziamento.

• 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;

• A ventilação das fossas tem que ser assegurada, tal como preconizado na

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

5.3- Tanque Imhoff

- Após a construção deste orgão deve proceder-se ao seu imediato enchimento com água;

- Os flocos de lamas arrastados para a superfície em virtude de libertações gasosas provenientes da digestão das lamas, originando a acumulação de escumas, acabando por formar-se uma carapaça, que deve ser quebrada periódicamente, 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 haverem 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 côr acinzentada). A correcção do pH faz-se com recurso à introdução de cal pela zona de arejamento.

- As lamas digeridas são extraídas através de tubagem apropriada, por pressão hidrostática, sendo esta descarga periódica. As lamas digeridas reconhecem-se pela sua côr negra e pelo seu cheiro (não desagradável, assemelhando-se ao alcatrão).

- As lamas digeridas não devem ser retiradas na sua totalidade, de modo a que as remanescentes possam garantir a continuação do processo de digestão.

- Deve-se colocar no topo da tubagem de arejamento uma rede de protecção, para prevenir eventuais actos de vandalismo.

- Verificando-se o espessamento das lamas no digestor e na tubagem de descarga, impedindo a saída das lamas, deve lançar-se água pelo tubo de arejamento.

- Sempre que possível, deve ser evitada a utilização de sistemas de bombagem na elevação de águas residuais para o tanque



S.

R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

Direcção de Serviços da Água

Imhoff, por forma a obviar os inconvenientes derivados de avarias e de manutenção que estes sistemas acarretam.

A elaboração dos capítulos IV e V contou com a colaboração de

Eugénio José Fernandes Santiago

Engenheiro Civil, Técnico Superior da Direcção de Serviços da
Água da DRARNCentro

e

Nelson Silva

Engenheiro Civil, Técnico Superior da Direcção de Serviços da
Água da DRARNCentro

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO
Direcção de Serviços da Água

BIBLIOGRAFIA

A. Broberg and T. Tren (Eds)

- Armstrong, W (1978)
 - Root Aeration In The Wetland Condition In Plant;
 - Life in Anaerobic Environments;

D. Hook and R.M. Crawford (eds), Ann Arbor Sci. Pub.; 269
- Brix, Hans (1987)
 - Treatment Of Wastewater In The Rhizosphere Of Wetland Plants - The Root-Zone Method.;

Water Sci Technol, Vol, 19, p.p. 107-118, 1987
- Bowmer, K.H. (1985)
 - Detoxification Of Effluents In a Macrophyte Treatment System; Water Rej., 19, 57
- Conley, L.M. e al. (1991)
 - An Assessment Of The Root Zone Method Of Wastewater Treatment; Res. J. WPCF, 63, 3
- Finlayson, C.M. and Mitchell, D.S. (1982)
 - Treatment of Rural Wastewaters in Australia with aquatic plants; Der Tropenlandwirt, 83, 155
- Gersberg, R.M., e al. (1986)
 - Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by artificial wetlands; Water res., 20, 363
- Gersberg, R.M., Elkins, B.V. e Goldman, C.R.
 - Wastewater Treatment by artificial wetlands; Water Sci Technol Vol. 17, pp 443-450, [1984]
- Hansen, J.I. e Anderson, F.O. [1981]
 - Effects of Phragmites Australis Roots and Rizomes on Redox Potentials, Nitrification and Bacterial Numbers in The Sediments;
- Imhoff, Karl
 - Manual de tratamento de águas residuais; Editora Edgard Blucher, Lda - S. Paulo, [1966]
- Moraes, Álvaro Queirós
 - Depuração dos Esgotos Domésticos de Pequenos Aglomerados Populacionais e Habitações Isoladas; Direcção Geral de Saneamento Básico, Lisboa 1977
- Nichols, D.S. (1983)
 - Capacity of Natural Wetlands to remove nutrients from wastewater; J. Water Pollut. Control Fed., 55, 495-504
- 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. e al. (1988)
 - Natural Systems for Waste management and Treatment; McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Ribeiro, Costa e Relvão, António Machado
 - Estações de Tratamento de águas Residuais para Aglomerados com menos de 5000 habitantes; Comissão de Coordenação da Região Centro, Coimbra, 1989
- Watson, J.T., e al. (1986)
 - Root Aeration In The Wetland Condition In Plant;
 - Life in Anaerobic Environments;

D. Hook and R.M. Crawford (eds), Ann Arbor Sci. Pub.; 269

Bibliografia
Geral:

IMHOFF, Karl, Manual de Tratamento de Águas Residuárias, Ed. Edgard Blucher, Lt^a. S. Paulo, 1966.

Ribeiro, Costa e Relvão, A.Machado, Estações de Tratamento de Águas Residuais para Aglomerados com menos de 5 000 Habitantes, (1989), Coimbra, CCR Centro.

STELL, E. W. Water Supply and Sewerage, Mcgraw- Hill Book Cp. Inc. Toquio, 1960.

Relativa á utilização de Lagoas de Macrófitas emergentes no tratamento de águas residuais urbanas

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, Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - The root zone method, (1986) *Wat. Sci. Tech.*, 19, pp. 107-118.

Brix, Hans, Gas exchange through dead culms of reed (*pragmites australis*) *Aquat Bot*, 1989

Brix, Hans and Schierup The use of Aquatic Macrophytes in Water- Pollution Control, 1989

Conley, Lucy M., Dick, Richard I., Lion, L. W. An Assesment of the root zone method of wastewater treatment (1991) *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, pp. 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. Brobergand T. Tiren (Eds), Sweden, 72.

Ré, Marcos L. As Macrofitas Emergentes no Tratamento das Águas Residuais Domésticas,Projecto NORSPA, 90- BIS P/002/01, 1996.

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 Systemsfor waste Management and Treatment, McGraw-Hill Book Company, N. Y. 308p.

Relvão, A. Machado. Tecnologias Adequadas para o Tratamento de Águas Residuais de Pequenos Aglomerados Urbanos. (1994), Coimbra, DRARN Centro.

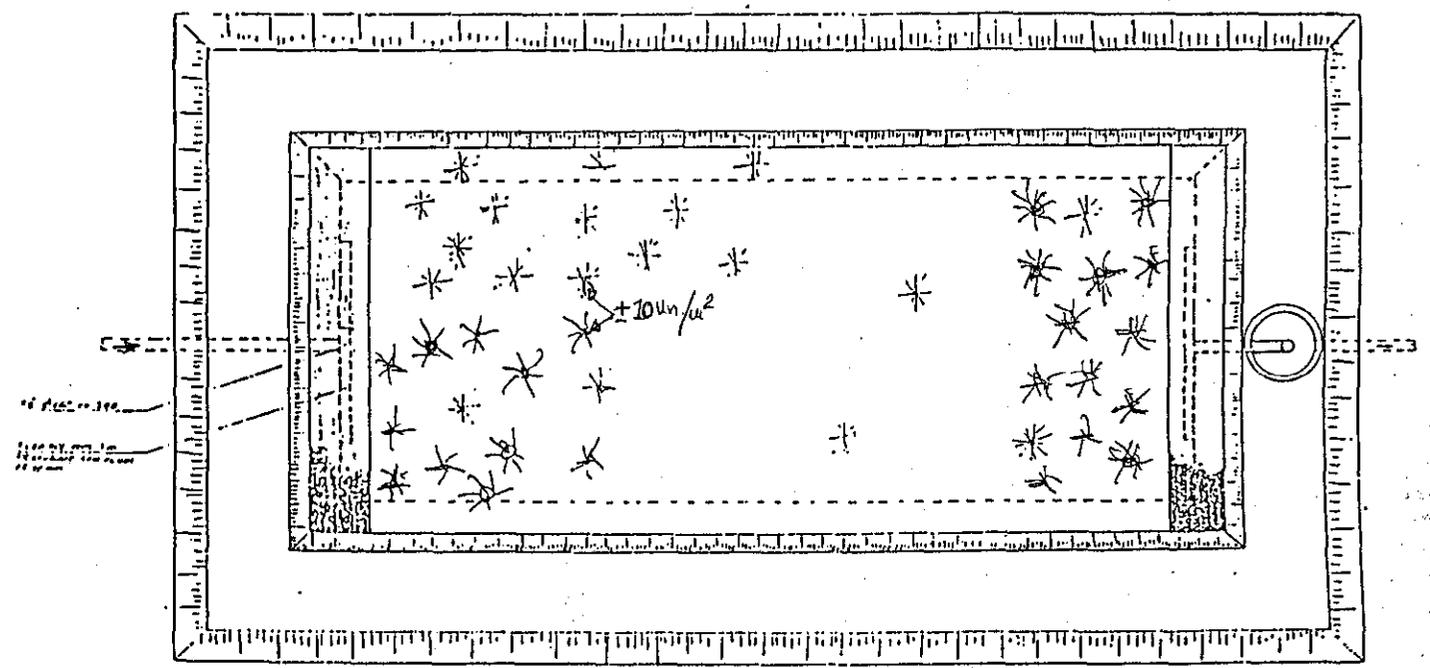
Watson, J.T., et al. (1986) Design and Performance of Artificial Wetland Wastewater Treatment Plants at Iselin, Pensylvania, Conf. Res. Appl. Aquatic Plants for Water Treatment and Resour. Recovery, Orlando, Fla.

30
COMISSÃO DE AVALIAÇÃO
C.P.N.C.
CENTRO

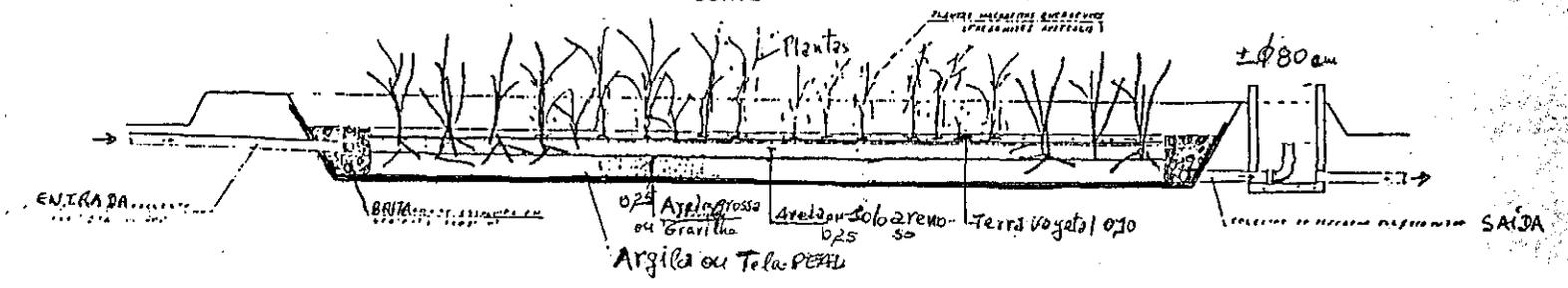
MINISTÉRIO DO AMBIENTE
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO

PLANTA

LAGOA DE
MACROFITAS
EMERGENTES



CORTE





MINISTÉRIO DO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS
DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO CENTRO
DIRECÇÃO DE SERVIÇOS DA ÁGUA

CIRCUITO HIDRÁULICO

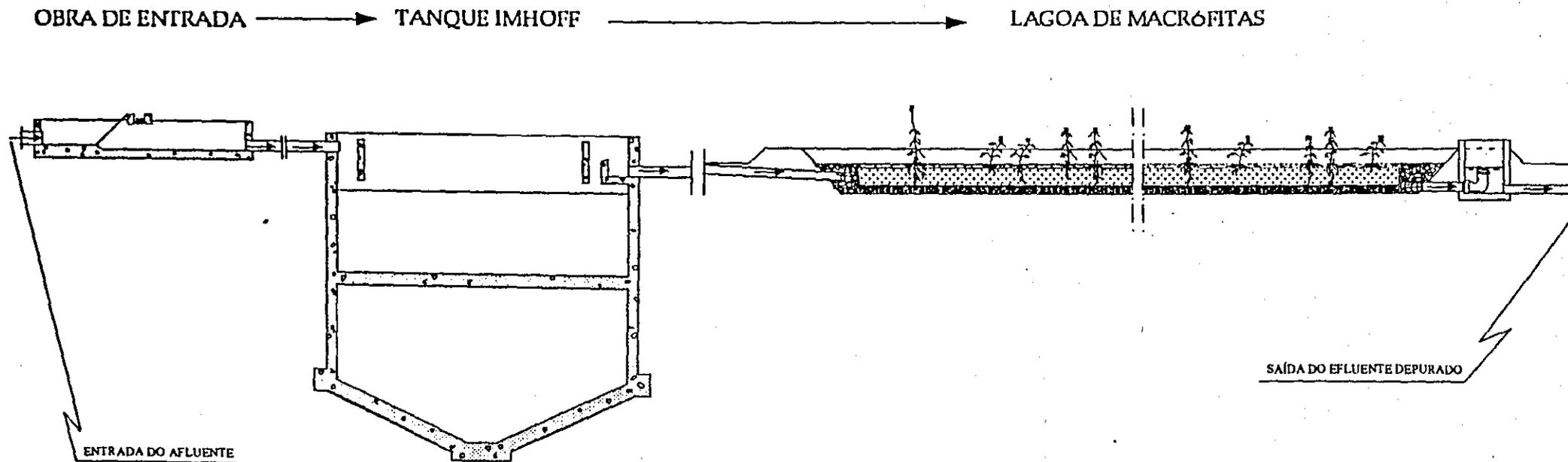


FIG.1 - ESQUEMA DO CIRCUITO HIDRÁULICO