

PROCESSO DE TRATAMENTO RIZOSFÉRICO SEGUNDO O PROFESSOR KICKUTH

Reinhold KICKUTH ⁽¹⁾

RESUMO

O tratamento das águas residuais surge-nos, hoje, com alguma familiaridade, como um grave problema a solucionar. No intuito de o resolver são aplicados diversos sistemas convencionais, na maioria dos casos e infelizmente, tentativas falhadas.

Por vezes, na luta desenfreada na procura de soluções acabamos por descurar os recursos que a natureza coloca ao nosso dispor. Neste campo o melhor exemplo é sem duvida a presença dos caniçais, característicos das associações ripícolas, e com uma elevada capacidade de depuração.

As características que tornam estas espécies tão peculiares e importantes na depuração rizosférica de efluentes, apresentam duas vertentes. Por um lado, o desenvolvimento do seu sistema radicular em extensão horizontal, permite manter a permeabilidade do solo em que estas se encontram instaladas e por isso, prevenir os riscos de colmatação. Por outro lado, apresentam uma enorme capacidade na remoção do Azoto combinado contido no efluente, aspecto que - tomando em consideração a legislação vigente que regulamenta a descarga de águas residuais no seu meio receptor – se revela de grande utilidade.

Contudo, actualmente ainda é difícil aceitar a ideia de que os instrumentos mais simples e rudimentares podem ser sustentáveis e bastante mais úteis do que os denominados de “convencionais”.

Palavras-chave: Depuração, caniçais, efluentes, raízes

¹ Reinhold Kickuth, Prof.Dr. – ETARPLAN, S.A., Estações de Tratamento de Águas Residuais através de Plantas, Portugal

1 - HISTÓRIA DO PROCESSO RIZOSFÉRICO

1.1 - Introdução

Há longos anos que o Homem tenta tratar as suas águas residuais, fruto da aglomeração e complexidade das sociedades. Com as primeiras civilizações surgiram os primeiros problemas, e por conseguinte, as primeiras tentativas de resolução dos mesmos. Assim, na Mesopotâmia a solução adoptada foi o tratamento dos esgotos em terreno tratado e semeado; desta prática de utilização do solo como meio receptor, constam também exemplos na antiga Grécia, continuando este a ser utilizado até finais do século XIX em países como a Alemanha e Inglaterra.

No final do século XIX, início do século XX, começaram-se a sistematizar os sistemas de tratamento de águas residuais. Os crescentes problemas nesta área, decorrentes das atitudes da revolução industrial, obrigaram a uma maior preocupação na resolução do tratamento das águas residuais, o que se reflectiu no aparecimento de estudos mais complexos ao nível do saneamento básico.

1.2 - O processo rizosférico

No início do século XX (1904), dois cientistas alemães, Hiltner e Stormer, descobriram que a depuração das águas residuais poderia ser efectuada naturalmente através do processo rizosférico (a partir da observação na depuração das águas quando estanques em certos tipos de solo nos quais estavam implantados caniçais).

Nesta época e por influencia da revolução industrial, a importância dos estudos incidia prioritariamente nos processos artificiais, acreditando-se nestes para a resolução de todos os problemas, não havendo por isso uma continuidade imediata dos estudos efectuados por Hiltner e Stormer .

Só em 1943 Dymond voltou a desenvolver um estudo no qual se incluía uma planta, a EICCORNIA, para o tratamento dos efluentes, a qual foi posteriormente aplicada, em 1968 por Haifa e em 1970 por Heider, Banks e Nasa em zonas de clima quente e apenas para afinação final do efluente.

Em 1954 Seidel, estudou e desenvolveu, até quase aos nossos dias, um processo de tratamento através de Heliófitas emersas, que poderiam ser empregues no tratamento de efluentes industriais. Da sua aplicação resultaram numerosos estudos que se encontram disponíveis na Universidade do Minho; isto porque a Dr. Seidel acreditava que o nosso país reunia condições ideais para a implantação de sistemas naturais, mais propriamente de plantas, no tratamento das águas residuais.

Paralelamente a estes estudos, em especial aos desenvolvidos pela Dr. Seidel; Kickuth em 1964, estudou e desenvolveu um sistema de tratamento rizosférico, no qual as plantas não assumiam o “papel” primordial no tratamento.

Anteriormente os estudos efectuados, davam uma maior relevância aos aspectos biológicos, em detrimento dos estudos químicos do solo onde o sistema iria ser implantado. Kickuth desenvolveu o seu processo com base na capacidade de um solo radicado. A tal facto não serão estranhos os estudos efectuados entre 1959 e 1969 na Universidade de

Göttingen, onde foi assistente nas áreas de : Acção dos fenóis no solo, Ecologia química da água e solo, Intoxicação da água e solo.

Depois de ter sido nomeado Professor Catedrático em 1971, em 1974 fundou o Grupo Kickuth com a construção da ETAR de Liebenburgo, com uma dimensão para o tratamento de 5000 equivalentes populacionais. Nesse mesmo ano, o grupo construiu ainda a ETAR do British Steel para o tratamento dos respectivos efluentes industriais, mais propriamente de metais pesados, com uma área de ocupação de 15 hectares. A partir daqui mais de 6000 sistemas de tratamento foram construídos em todo o mundo, dos quais se podem destacar:

- Windel (para 80000 H.E.),
- Aterro sanitário de resíduos tóxicos, em Hamburgo,
- Quassem, na Arábia Saudita,
- Kadaikanal, em Tamil Nadu,
- ICI – POLYMEERS, em Billingham,
- Aeroporto de Zurique,
- Kanapa Recreation Center Accra,

de todos estes exemplos constam as mais variadas áreas de actuação para o tratamento de efluentes: industriais, domésticos, lixiviados de aterros sanitários, da actividade agrícola, do tratamento de resíduos resultantes da descongelação exterior dos aviões e de outros tipo de tratamentos no âmbito das águas residuais, resultantes das mais variadas investigações levadas a cabo pelo Grupo, as quais têm permitido otimizar todos os processos de tratamento, estando neste momento praticamente automatizado o processo de tratamento de efluentes domésticos.

1.3 - O processo rizosférico em Portugal

Foi já na fase adulta que o processo chegou a Portugal. De facto, quando em 1996 o Grupo Kickuth decidiu fundar a ETARPLAN S.A. em Portugal, todo o processo já se encontrava solidamente implantado.

Em termos técnicos: a facilidade de aplicação do processo, as condições climáticas favoráveis e os excelentes e comprovados resultados de eficiência, assim como a facilidade de manutenção, e a quase ausência de custos de exploração, faziam antever uma rápida proliferação da tecnologia em Portugal - Como é do domínio público, em Portugal existem mais de 35000 agregados populacionais com uma população inferior a 500 habitantes, dos quais apenas uma pequena parte possui algum tipo de tratamento dos seus efluentes – no entanto, tal não veio a acontecer.

Até Agosto de 1997 apenas 15 pequenos sistemas de tratamento em moradias tinham sido implantados. Os receios na introdução de uma nova tecnologia, assimilados por uma política de construção de “MEGAETAR’s”, inibiram o arranque mais rápido deste tipo de sistemas. Contudo, em Agosto de 1997 foi inaugurado no Estabelecimento Prisional de Pinheiro da Cruz a primeira instalação pública em Portugal, preparada para tratar os efluentes de 200 equivalentes populacionais. No mês seguinte um outro sistema idêntico, foi implantado no Concelho de Carregal do Sal, seguindo-se a adjudicação de 5 ETAR’s pela Câmara Municipal de Vieira do Minho, que se encontram neste momento em fase final de construção. Adjudicadas estão também: uma ETAR na urbanização da Goldra no concelho de Loulé, e no concelho de Castro Verde na associação SER.

Em fase de pré-projecto encontram-se inúmeras propostas, bem como participações em alguns concursos públicos.

2 - COMPARAÇÃO DE ETAR's CONVENCIONAIS COM O PROCESSO RIZOSFÉRICO

Devido à sensibilidade de operação e principalmente a problemas resultantes das variações de carga mais imprevisíveis nas pequenas instalações, a política nacional no domínio hídrico tem consagrado a implantação de grandes sistemas de tratamento convencionais, por forma a viabilizar tecnicamente os processos e a rentabilizá-los economicamente. No entanto estas soluções nunca foram ambientalmente as mais adequadas. Em termos ambientais a concentração seja do que for nunca é benéfica para o ambiente, principalmente de poluentes.

As grandes instalações afastam as pessoas das responsabilidades ambientais, não servindo a difícil tarefa de educação ambiental do cidadão. De facto as boas ETAR's' técnicas são aquelas cuja dimensão compensa técnica e financeiramente a sua laboração, contudo quando há possibilidades de implantar um sistema natural, mais propriamente de plantas, este torna-se mais vantajoso do que um sistema clássico; senão vejamos:

- Não gasta energia. A fonte energética é o Sol.
- A manutenção é quase nula.
- Boas respostas a variações bruscas de carga orgânica.
- A relação técnico/financeira permite a instalação também em pequenas unidades de tratamento.
- O tempo de vida útil é de aproximadamente 1 século.
- O balanço energético total é 99% inferior ao de uma ETAR técnica.
- Numa ETAR clássica, cerca de 50% da carga de carbono requer um tratamento no qual ocorre um elevado consumo de energia, sendo esta energia concentrada nas lamas. Os restantes 50% são libertados para a atmosfera sob a forma de CO₂.
- Para 1000 H.E., as emissões de CO₂ de uma ETAR clássica são de aproximadamente 300 ton/ano. Estes valores podem ser drasticamente reduzidos com o processo de depuração rizosférico.
- Numa ETAR para 2000 H.E. o efeito energético de refrigeração é 125×10^9 KJ , que nas condições normais em Portugal, esta energia contraria o aumento de temperatura provocado por 50 residências unifamiliares.

Nas ETAR's de plantas surgem também o aparecimento de novos biótopos. De uma forma simples efectua o tratamento secundário e terciário, podendo por isso o efluente de descarga no meio receptor ser reaproveitado para rega.

3 - FUNCIONALIDADE DO SISTEMA

3.1 - Descrição do processo de depuração rizosférico

O sistema de depuração rizosférica, segundo a tecnologia Kickuth, envolve numa primeira fase um tratamento preliminar realizado ao nível de uma fossa séptica ou um Tanque

Imhoff onde decorre a sedimentação duma fracção significativa dos sólidos em suspensão por efeito da acção da gravidade, e da aglomeração superficial de espuma sobrenadante.

Numa segunda fase, a fracção não sedimentada do esgoto é encaminhada para uma bacia de plantas, onde decorrem processos de depuração e tratamento quer secundário, quer terciário.

A maior especificidade da depuração rizosférica reside, no facto do efluente ser tratado e descontaminado numa interface de substrato enraizado, ou camada de filtragem, permitindo articular as diversas propriedades de depuração de um meio anisotrópico natural, constituído simultaneamente por “terra”, por “ar” e por “água”. Esta particularidade reflecte-se não apenas na óbvia maior variedade de interações dos processos físicos, químicos e biológicos e consequentes rendimentos acrescidos de eficácia depuradora, mas ainda na possibilidade de instalar sistemas de tratamento subterrâneos, não visíveis directamente à superfície.

Também se pode referir que o uso de “solo optimizado”, como matriz de tratamento do efluente, permite carrear para a depuração do esgoto a acção de diversos organismos — por exemplo protozoários, algas do solo, fungos, microartrópodes (ácaros microscópicos e colêmbolos), etc, cuja eficácia na remoção de detritos orgânicos está cientificamente demonstrada, embora as técnicas clássicas de engenharia sanitária os considerem insuficientes, talvez devido à tendência que têm de utilizar preferencialmente — quase em regime de exclusividade — o metabolismo bacteriano. Em 1 g de solo existem 100 milhões a 1.000 milhões de germes do solo e, junto das raízes 10 a 100 milhões de germes de solo. Num complexo de solo com fluxo de águas residuais e enraizado poder-se-ão encontrar cerca de 2000 espécies de bactérias e cerca de 10000 espécies de fungos

A depuração efectua-se essencialmente durante um escoamento horizontal através do meio de filtragem, construído em bacias especiais impermeabilizadas, nas quais se instalam plantas adequadas (estirpes específicas, provenientes de Viveiro que sofreram ao longo do tempo modificações genéticas). No substrato criam-se condições para desenvolvimento de vastas microzoó e microfita comunidades, que, em interacção com a globalidade dos processos da dinâmica pedológica, nomeadamente com aqueles que efectuam acções de depuração solar (filtragens, adsorções, absorções, permutas iónicas, bio-osmose pedológicas, desalogenações, desidrogenações, oxi-reduções, etc., etc.) garantem a remoção dos contaminantes de carga no efluente a tratar.

Para além de uma maior diversidade do biota actuante, na depuração de efluentes no solo participam ainda processos específicos deste meio natural como por exemplo a *quelacção* (ou complexação), através da qual se conservam em solução — não tóxica — (e predominantemente orgânica) alguns metais, por exemplo ferro e cobre (Fe e Cu), que nos sais inorgânicos respectivos seriam tóxicos.

Na remoção das cargas orgânicas ou seus vestigiais, presentes no efluente, os processos de *mineralização* e *humificação*, decorrentes no solo, desempenham um assinalável papel, tal como se apresentará adiante.

3.2- Intervenção das plantas no sistema

O papel das plantas no sistema é de natureza diversa. Por um lado, as plantas são naturalmente uma peça configuradora da ETAR, visto que a fisionomia geral da unidade, o seu *aspecto* — se quisermos — é determinado justamente por elas. Mas para além deste papel de *vista*, as plantas utilizadas desempenham funções de *substância*. Cabe-lhes transportar

descendentemente oxigénio para o substrato, que suportará a actividade metabólica dos organismos aeróbios na depuração. Às raízes e rizomas — com crescimento vertical e horizontal praticamente permanente — de *Phragmites sp.*, cumpre sulcar em constância o substrato, *rasgando-o* e estabelecendo permanentemente micro canais e passagens para obstar a colmatção. Finalmente, as plantas participam também directamente na remoção de alguns nutrientes do efluente — por exemplo nitratos, fosfatos, carbonatos e sulfatos — e indirectamente em diversos processos de simbiose e outras interacções ecológicas, biofísicas e bioquímicas do solo.

Durante o escoamento, são dissolvidos os poluentes contidos na água, sendo posteriormente expostos à astenosfera através do processo de desnitrificação.

Uma outra vantagem da presença das plantas neste processo refere-se sem dúvida à capacidade de evaporação, que no seu estado vegetativo apresenta uma taxa muito superior contribuindo assim, para a depuração das águas.

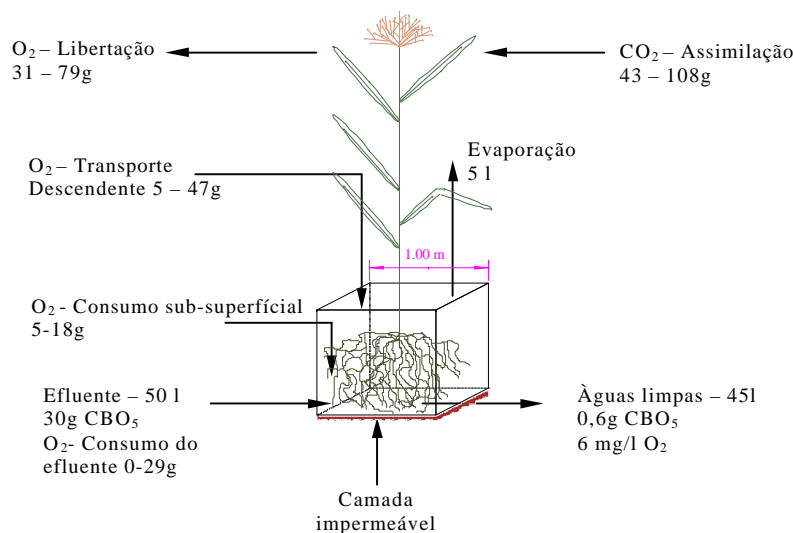


Figura 1 – Funções quantitativas diárias, desenvolvidas pelas raízes num m²

Em comparação deste complexo Solo + Plantas com um solo não enraizado, verifica-se que a densidade bacteriana neste ultimo é muito menor- cerca de 10 a 1000 vezes inferior.

Na camada de filtragem (substrato), podem ser definidas duas fases distintas, ambas com funções de remoção muito importantes:

Fase Aeróbia: Corresponde às zonas adjacentes ao sistema radicular das plantas, onde existe uma maior concentração de Oxigénio.

Fase Anaeróbia: Corresponde à restante camada de filtragem, na qual o teor de Oxigénio é muito reduzido ou nulo.

3.3- Capacidade de remoção de nutrientes

Como se referiu anteriormente, este complexo apresenta uma elevada capacidade de remoção de nutrientes presentes nos esgotos. Esta capacidade deve-se à interconectividade existente entre os elementos solo, microorganismos e planta, pois só em conjunto se atingem os valores desejados.

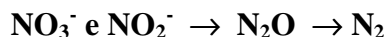
As biocenoses que aqui se estabelecem apresentam um poder de auto-regulação impossível de conseguir com qualquer outro sistema técnico. A sua amplitude de aceitação a condições extremas é bastante extensa, tal facto deve-se à variação das espécies presentes no solo vivo. Dada a presença das fases aeróbia e anaeróbia, há uma maior capacidade de dissolução e de troca entre o ambiente anaeróbio para o ambiente aeróbio.

Este sistema é capaz de absorver a introdução esporádica de grandes quantidades de água com concentrações elevadas de elementos tóxicos, e pode auto-regular-se.

De seguida apresentam-se os mecanismos de remoção dos diversos nutrientes contidos nas águas residuais.

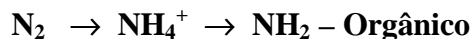
3.3. 1- Azoto

Camada Anaeróbia - Nesta fase ocorre a desnitrificação que envolve cerca de 85% das ligações de Azoto incrementadas no esgoto. Verifica-se assim, a capacidade de absorção, por parte destes sistemas, na ordem dos 15 000 Kg N/ano.m². Os produtos finais da desnitrificação são o N₂ e o N₂O. Em caso de esgotos com grande teor de nitratos, a capacidade de dissolução pode, por ano, ultrapassar as 20 toneladas/m². Este processo de redução dos nitratos e nitritos, é efectuado por acção dos microorganismos anaeróbios. O produto final – óxido nítrico é posteriormente libertado no subsolo servindo de alimento às plantas.



Camada aeróbia: Nesta fase, ocorre a conversão de N₂ no interior do solo oxigenado, junto das raízes das plantas, para NH₄⁺, com a ajuda de grupos especializados de microorganismos. Em concentrações entre 0 e 1000 mg N/l, este é reduzido, segundo uma reacção de 1ª ordem, a Amónio. Para concentrações acima dos 1000 mg N/l, podem-se verificar reacções de ordem 0, se se verificarem ligações facilmente dissolúveis, ou, em ligações de Amónio e elementos tóxicos, verificam-se reacções cinéticas de 2ª ordem, derivadas de reacções do tipo Van- Slyke- Typ, nas quais é conhecido a importante formação intermediária de grupos na forma de nitro aminas (amina – NH₂)

O azoto é então assimilado em azoto orgânico



Tendo em atenção as exigências de depuração de efluentes torna-se cada vez mais importante desenvolver sistemas de tratamento de águas residuais cujos aspectos técnicos considerem a remoção de nitratos. Prova-se assim a capacidade destas instalações ao nível da

remoção de azoto dos diferentes tipos de esgotos. A eliminação verifica-se em águas com grande concentração de amónio e seus derivados (400 mg/l).

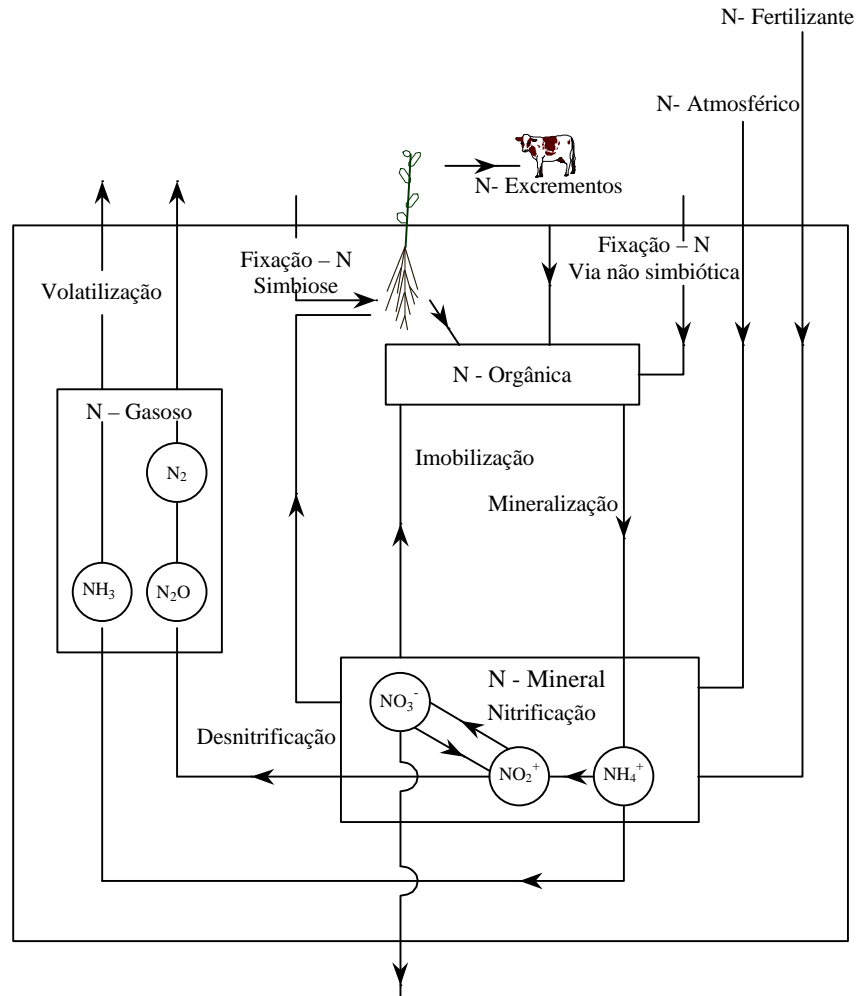


Figura 2- Ciclo do Azoto

3.3.2- Fósforo

O fósforo (P), tal como o azoto, é um macronutriente necessário á sobrevivência da planta, ou seja, deverá encontrar-se disponível em grandes quantidades.

Este elemento ocorre sob a forma de fosfato inorgânico na matéria orgânica do solo. A característica dominante dos solos fosfatados é a lenta solubilidade do P- mineral.

O fósforo mineral, apresenta-se sob a forma de fosfato alumínico, ou, no caso de se encontrar nas partículas superficiais poderá sofrer um processo de quelação e passar à forma de sesquióxido. Nestas condições, ainda que esta seja a formação mais importante, o P pode

ser lentamente libertado por dissolução quando as concentrações na solução são reduzidas pelas plantas superiores.

Contudo, também na solução do solo se encontra o fósforo, sob a forma de $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} . Um dos resultados da forte ligação do fósforo é a fixação pelas raízes e micorrizas, o que implica a difícil remoção das partículas de superfície. Este movimento requer um processo de difusão física que devido à elevada adsorção pelas partículas do solo, poderá revelar-se lenta e intermitente.

O fósforo orgânico é adicionado ao solo através das plantas residuais e é libertado para a matéria orgânica por mineralização.

Devido á forte adsorção e às reduzidas concentrações na solução, a contribuição de fluxo de massa aumenta o teor de fosfato nas raízes e a reduzida taxa de difusão diminui. As plantas fixam o fosfato apenas na sua vizinhança, ou seja, na chamada zona de depleção.

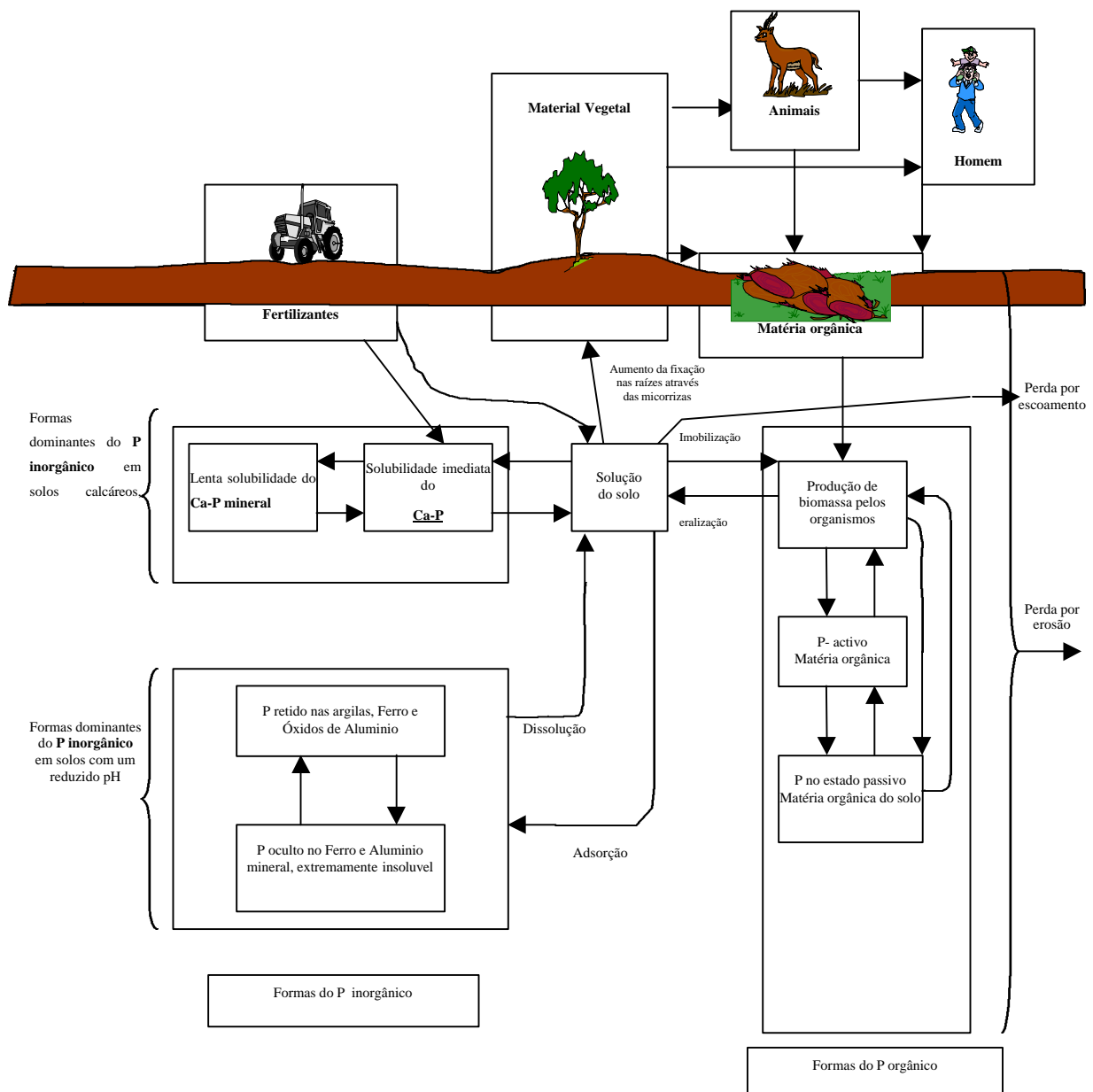


Figura 3 – Ciclo do Fósforo

3.3.3- Enxofre

O enxofre é fornecido às plantas sob a forma de sulfato, libertado por mineralização do enxofre orgânico (entre 2 a 4 Kg S ha⁻¹) ou entrando no solo por deposição seca sob a forma de SO₂ e deposição húmida sob a forma de SO₄²⁻ da atmosfera. Em solos ácidos o enxofre restringe-se a sesquióxidos e caulinite. As raízes apresentam a capacidade de eliminar cerca de 83% do teor de enxofre contido nas águas, o que significa que numa área de 1 m² poderá ser eliminado um total de 12 Kg /ano de enxofre.

Por outro lado, o sulfato poderá ser reduzido, por via anaeróbia, a sulfito que imediatamente será oxidado por bactérias fototróficas para elementos de enxofre. Estas bactérias aproveitam, não só os sulfitos mas também protegem os dissulfatos do prejuízo dos seus produtos finais (sulfitos). Poderá afirmar-se que não se trata aqui apenas de uma corrente simples de alimentação mas sim de uma relação de simbiose.

Está patente aqui a capacidade de auto-regulação do sistema, cujos elementos integrantes se encontram interligados através de relações de simbiose. Estas relações de simbiose só serão conseguidas em ambientes naturais, ou seja, em sistemas ecotécnicos. Por exemplo, até então não era conhecido qualquer sistema técnico que permitisse a eliminação do enxofre. É sabido que em sistemas convencionais o enxofre é oxidado para sulfatos e estes são introduzidos nas águas, portanto, o problema não fica resolvido, apenas disfarçado.

3.3.4 - Metais Pesados

Estes elementos (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), são considerados tóxicos, quando presentes em quantidades elevadas no solo. A razão deste efeito de toxicidade está relacionada, em primeiro lugar, com a reduzida proporção em que estes são adsorvidos e as formas de troca realizadas pelas plantas fixadoras. A associação dos metais pesados presentes no solo é efectuada com os carbonatos, óxidos de Ferro e Magnésio, resultando produtos finais tóxicos – sais inorgânicos. Todavia, estes elementos são mobilizados pelas plantas sob diferentes formas não se encontrando disponíveis para a associação com os metais pesados. Assim, por acção de um processo denominado quelacção ou complexação, os metais pesados, mantêm-se retidos no solo em solução sob a forma não tóxica.

3.4. Vantagens na utilização do sistema de depuração rizosférica

Como não poderia deixar de acontecer, o sistema de depuração *em solo*, não apresenta unicamente vantagens relativamente às outras possibilidades de depuração. Um dos problemas técnicos destes sistemas, por comparação com as tecnologias de circulação em condutas e ou tanques abertos, reside como é evidente na maior complexidade dos escoamentos hidráulicos em solo e na maior dificuldade da sua homogeneização, regulação, supervisionamento e controlo. Entre outros erros de dimensionamento, é justamente este aspecto que permite explicar, do nosso ponto de vista, o insucesso de certas “*lagos de*

macrófitas“, instaladas em Portugal e os problemas de colmatação dos filtros de areia e trincheiras filtrantes.

No sistema Kickuth, os riscos de colmatação ultrapassam-se, como se disse anteriormente, através da função drenante das raízes e rizomas das plantas. As outras dificuldades técnicas do escoamento estão também, no essencial, resolvidas por mais de 25 anos de experiência internacional e por algumas técnicas — também patenteadas — de divisão uniforme de caudais à entrada das bacias e seu encaminhamento pedológico. As caixas de controlo e regulação à saída da ETAR, bem como as operações de drenagem à entrada e à saída, constituem outros meios de resolver a questão dos escoamentos.

As ETARs Kickuth possuem uma configuração exterior de um biótopo, isto é, representam um “pedaço de paisagem”, um elemento de aspecto natural, agradável esteticamente e não portador dos impactos visuais negativos, normalmente associados às ETAR.

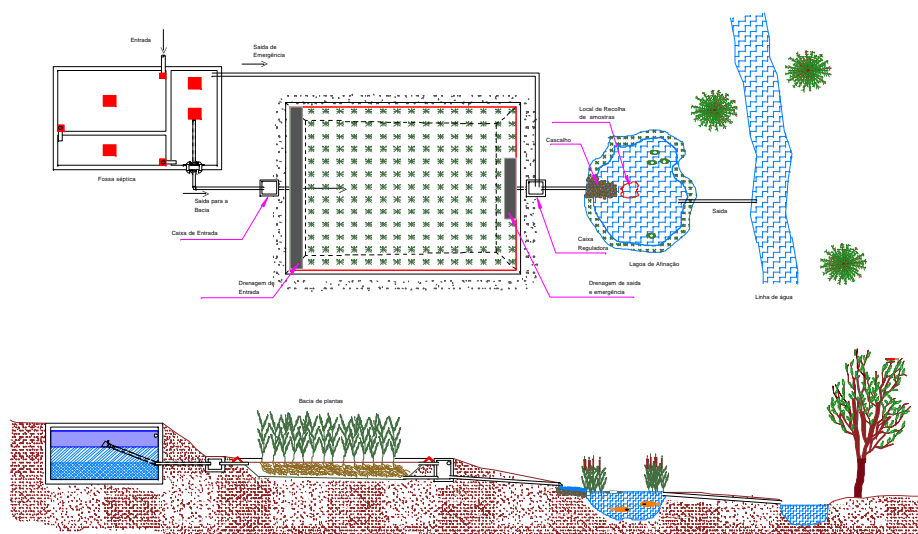


Figura 4 – Plano geral de um sistema de depuração rizosférica

Um dos aspectos mais importantes e vantajoso na aplicação deste processo é a capacidade de redução do volume de efluente à saída da unidade depuradora. Estima-se aproximadamente uma redução do volume de líquido tratado na ordem dos 25%, relativamente ao volume bruto. Esta capacidade deve-se à taxa de evapotranspiração realizada pelas plantas, que, para fixarem o CO_2 da atmosfera libertam H_2O .

Por outro lado, e tendo em atenção que se trata de um sistema natural, não há necessidade de obras de manutenção ou exploração que impliquem o incremento de custos elevados.

Para terminar o presente item, torna-se necessário abordar a questão da CONSTRUÇÃO do SUBSTRATO OPTIMIZADO e vantagens na sua aplicação. Como se disse atrás, é na configuração justamente desta componente da unidade que reside a especificidade do sistema Kickuth de depuração rizosférica.

Podemos no entanto referir que para determinação da configuração — em termos de estrutura, textura, composição química, composição microbiológica e propriedades sanitárias — se consideram como ponto de partida: a situação biofísica de referência no local de implantação da ETAR e em particular a constituição e características do solo existente, a composição qualitativa e quantitativa do efluente e os requisitos a cumprir no ponto de descarga.

O papel dos microorganismos, a densidade da sua instalação e os processos de interacção entre grupos, não sendo exclusivos no processo de tratamento do efluente, representam uma quota parte de grande importância na remoção dos contaminantes em presença do mesmo.

O escoamento horizontal no substrato, sujeito a operações específicas, inicia-se através de uma drenagem de entrada e cessa numa drenagem de saída. Por uma questão de prevenção, a instalação de caixas reguladoras de fluxo são sempre consideradas o que permite uma maior facilidade na monitorização do sistema. Todavia, e muito embora através deste sistema se atinjam taxas de remoção elevadíssimas, poderá ainda ser integrada, a jusante da unidade depuradora, uma lagoa de afinação, que permitirá a descarga no meio receptor, sempre que este constitui uma zona sensível, de acordo com os parâmetros legais em vigor.

3.5-Resultados analíticos e comprovativos da capacidade de depuração do sistema

As elevadas concentrações de carga expressa p.e. em CBO₅ e CQO, constituem a outra componente integrante dos efluentes a tratar. Na remoção destas cargas, o processo de depuração rizosférica possibilita a descarga do efluente no meio receptor, em consonância com a lei em vigor.

Em Portugal, este processo de depuração tem-se verificado bastante eficaz, mesmo após o arranque, apresentando-se como exemplo a Estação de Tratamento de Águas Residuais através de Plantas instalada no Estabelecimento Prisional de Pinheiro da Cruz (EPPC), inaugurada em 08 de Agosto de 1997, relativamente á qual se apresentam os seguintes resultados analíticos:

Quadro 1

Avaliação analítica do efluente após o processo de depuração rizosférica
(Apenas com 6 meses após o arranque)

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO À SAÍDA (mg/l)	PARÂMETROS DE DESCARGA (D.L. 152/97) (mg/l)
Sólidos suspensos totais (mg/l)	3	60
CQO (mg/l O ₂)	33, 0	125
CBO5 (mg/l O ₂)	6,5	25

Quadro 2

Avaliação analítica –parâmetros microbiológicos- do efluente após o processo de depuração rizosférica (**Apenas com 6 meses após o arranque**)

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO À SAÍDA (nº de colónias/100ml)	% DE REMOÇÃO
Coliformes fecais	$4,1 \times 10^6$	86
Estreptococcus fecais	$2,0 \times 10^5$	99
Contagem heterotrófica	$5,0 \times 10^5$	76
Esporos de clostrídios	$1,4 \times 10^3$	90
Sulfito-redutores		
Salmonelas	Negativo	-

Estes resultados comprovam a capacidade de adaptação das plantas quer ao meio de filtragem onde foram colocadas quer ao fluxo de esgoto a que foram sujeitas.

As ETAR Kickuth representam no ambiente global do local um elemento de aspecto natural, agradável esteticamente e atenuante de impactes visuais negativos.



Figura 5- Aspecto de um sistema de depuração rizosférica (EPPC, 1997)

Para além das vantagens já referidas, na utilização do processo de depuração rizosférica, poder-se-á ainda acrescentar que este sistema não requer qualquer incremento de energia, o que, em termos económicos implica uma significativa redução de custos. Segundo a Lei do Ambiente a gestão e planificação ambiental deverá respeitar dois requisitos fundamentais, o económico e o técnico, parâmetros esses que são respeitados quando aplicado o sistema de depuração rizosférica.

BIBLIOGRAFIA

BRADY , N.C.; WEIL, R.R. – *The nature and properties of soils*. New Jersey (USA), Prentice-Hall International, Inc., 1996

MARSHALL et al. (1996) – *Soil physics, Third Edition*. Cambridge (USA), Cambridge University Press, 1996

KICKUTH, R. – *Berichte zur Ökotechnik* (Relatórios de sistemas ecotécnicos). Feldberggring (Alemanha), 1991

KICKUTH, R.; WINTER, M. – “*Die Natur als Problemlöser*” (A Natureza como solucionadora de problemas) , *Chemische Industrie*, Março 1989, pp. 40-42

KICKUTH, R.; GODT, J. – *Naturnahe Klärverfahren und Biotopgestaltung* (Sistemas de tratamento de águas residuais próximos do natural- Construção de Biótopos) . *Kassel (Alemanha)*, Diplomarbeit na der Gesamthochschule Kassel, 1985/86

KICKUTH, R.- *Das Wurzelraumverfahren in der Praxis, The application of the “Rootzone Process”* (O processo rizosférico na prática), *Landschaft + Stadt* 16, Janeiro 1984, pp. 145-152

KICKUTH, R. – *Wurzelraumentsorgung nach Prof.Kickuth – ein ökotechnisches Abwasserreinigungsverfahren* (O Processo Rizosférico segundo o Prof. Kickuth-Sistemas ecotécnicos para águas residuais). *Gesamthochschule Kassel.Universität (Alemanha)*. Gesamthochschule Kassel, 1982

ROWELL, D. – *Soil Science, Methods & Applications*. England (Inglaterra), Longman, Ltd., 1996