

Estabilização de poluentes por disposição no solo

Eng. Ricardo Silveira Bernardes (1)

1 Resumo

A prática de tratamento de esgotos por disposição no solo, apesar de ter sido um dos primeiros métodos de disposição final controlada de águas residuárias, tem sido deixada de lado como alternativa tecnicamente aceitável. Mais recentemente, com o avanço do conceito de reciclagem sobre a idéia de simplesmente depurar os esgotos, a prática de disposição no solo voltou a ser encarada com seriedade. O conteúdo do presente trabalho procura mostrar a viabilidade de sistemas para disposição de esgotos domésticos no solo após decantação e após tratamento em lagoas de estabilização facultativas. São discutidas as eficiências de remoção de DBOs, DQO, Nitrogênio e Fósforo para ambos os casos, além dos valores de pH após disposição. Como complemento, procura-se analisar a variação da fertilidade do solo com a prática de disposição de esgotos e a produção de biomassa em sistema desse tipo, com cultura de milho para o campo de disposição de esgoto após sedimentação e cultura de couve para o campo de disposição após tratamento secundário em lagoa de estabilização.

Summary

The practice of wastewater's treatment by soil disposal, although it was one of the first wastewater's controlled disposal method, has been despised like a acceptable alternative technic. More recently, with the advanced of the concept of reuse over the idea of simply treat wastewater, the practice of soil disposal become to look seriously. The contents of this paper intend to show a viability of systems that use soil disposal of domestic's wastewater, before sedimentation and before secondary treatment with stabilization's pond. It was discussed the removal's efficiency of BODs, COD, Nitrogen and Phosphorus to both systems, and pH after soil disposal. Comple-

mentary, it intend to analyse the change of soil's fertility with the practice of soil disposal and the biomass production in systems like that, with crops of corn in the area of disposal effluent after sedimentation, and crops of cabbage in the area of disposal effluent after secondary treatment in stabilization's pond.

2 Introdução

O crescimento populacional, aliado ao fenômeno da urbanização, tem ocasionado efeitos negativos bastante sensíveis e já suficientemente evidentes para grande parte das comunidades de diferentes regiões do planeta. Dentre os efeitos mais graves tem-se destacado a crescente demanda de alimentos, cuja produção não tem acompanhado os níveis bastante altos do aumento da população. Também devem ser consideradas como conseqüências perniciosas da explosão populacional todas as formas de degradação e poluição ambiental ocasionadas pelo lançamento, sem tratamento adequado, dos restos do metabolismo das comunidades na forma de resíduos orgânicos.

Entretanto, deve-se ressaltar que esses resíduos orgânicos são fontes riquíssimas de matéria orgânica e nutrientes minerais; dentro de um processamento racional, podem em muito contribuir para um aumento da produção de alimentos e melhoria da qualidade ambiental, na forma de recuperação de solos concomitantemente com a preservação de recursos hídricos.

Dentre os resíduos orgânicos provenientes da atividade humana, os esgotos domésticos ocupam lugar de extrema importância devido à sua crescente quantidade, além do fato de serem gerados tanto nas grandes metrópoles como nas pequenas comunidades.

A disposição dos esgotos domésticos foi feita, a princípio, através de soluções individuais, sem uma preocupação mais efetiva com sua depuração, dando-se a mesma no solo ou na água por processos naturais.

A forma mais antiga de disposição e depuração controlada dos esgotos, e a que teve aplicação por largo período, foi a disposição no solo. Com o crescimento das cidades e conseqüente valorização das áreas próximas ao sítio urbano, esse processo passou a ser preterido frente a outros que, embora não efetuassem uma depuração tão completa como o primeiro, necessitavam de área bem menor para sua implantação. Esse fato, associado a um certo fascínio por soluções sofisticadas, tecnologicamente falando, fizeram com que a disposição no solo fosse quase que inteiramente abandonada como solução para tratamento de esgotos.

A implantação crescente de unidades de tratamento compactas teve como fruto a constatação de que os efluentes oriundos desses processos ainda apresentavam potencial poluidor, seja quanto à parcela da matéria orgânica não degradada, seja pela presença maciça de nutrientes minerais, responsáveis por uma série de problemas para os corpos d'água, tal como a eutrofização, por exemplo.

Os estudos para solucionar estes problemas mostraram que os custos dos processos para tratamento dessa parcela restante dos esgotos cresciam de forma exagerada, quanto mais completa era a depuração final.

Isto fez com que o estudo de processos naturais para depuração de esgotos domésticos ganhasse novo impulso, sendo que hoje essas alternativas já passam a ser encaradas como aplicáveis às nossas comunidades.

Das justificativas para implantação de sistemas de depuração de esgotos domésticos através de disposição no solo, duas delas merecem menção especial: a ecológica e a de caráter econômico e social. A esse respeito, cabem algumas considerações, apresentadas a seguir.

Aspectos ecológicos

De certa forma, uma boa porcentagem da produção agrícola destina-se à alimentação da população humana, que, em sua grande maioria, concentra-se

(1) Professor na Escola de Engenharia de Lins

na área urbana das cidades. Uma parte dos resíduos resultantes da utilização desses alimentos pelo homem são os excreta, componente principal da matéria orgânica biodegradável contida nos esgotos domésticos.

A disposição dos esgotos nos corpos d'água acarreta dois problemas básicos, sob o ponto de vista de reciclagem dessa matéria orgânica e aproveitamento de recursos hídricos:

a) Poluição e contaminação dos corpos d'água, ocasionando dificuldades para o aproveitamento da água desses receptores. Os aspectos negativos dessa disposição, sob o ponto de vista sanitário, são bastante relevantes diante do fato de que em sua grande maioria esses mananciais são utilizados para captação de água para abastecimento público e outros usos, ao longo de seu curso;

b) Exaustão das terras destinadas à agricultura, visto que boa parte da matéria orgânica aí produzida é levada para fora, não retornando ao solo após sua decomposição, na forma de "humus" e nutrientes minerais necessários ao processo de fotossíntese.

Com a utilização de tratamento dos esgotos por disposição no solo, poderemos recuperar em grande parte a matéria orgânica contida nos despejos e também minimizar os impactos negativos que esses resíduos promovem no meio aquático, cujas formas de vida são muito sensíveis a qualquer alteração das suas características físico-químicas.

Aspectos Econômicos e Sociais

Em países tanto econômica como socialmente carentes, deve-se pensar em alternativas para tratamento e disposição final de esgotos que não só tenham viabilidade técnica como signifiquem um melhor aproveitamento possível do pessoal local, além de terem baixo custo de implantação e manutenção.

Além disso, sob a ótica de que o progresso tecnológico das soluções para tratamento de águas residuárias tem sido bastante grande, qualquer alternativa proposta deve trazer em si a idéia de que esses tratamentos deverão ser encarados como sistemas, o que permite que haja modificações no mesmo à medida que novas soluções forem sendo encontradas. A disposição de esgotos no solo tem essa característica, permitindo uma relativa maleabilidade na implantação e uma grande maleabilidade na operação e ampliação.

No tocante ao aproveitamento do pessoal local, a disposição no solo es-

tá intimamente ligada a práticas agrícolas, estando essas atividades bastante arraigadas em nosso meio social. Isto permite maior facilidade para implantação e operação do sistema, inclusive em locais bastante distantes dos centros tecnológicos mais adiantados, atingindo tanto as pequenas comunidades quanto aquelas familiares. O atendimento progressivo de todas estas parcelas sociais fará chegar ao desiderato máximo, almejado pelos ecologistas e sanitaristas, de se eliminar a poluição e contaminação dos recursos hídricos por dejetos humanos.

Sob o ponto de vista de custos, a disposição no solo necessita de maiores áreas para implantação, o que todavia não é necessariamente limitante, em razão da possibilidade de utilização de áreas com menores condições de urbanização. Além disso, essas áreas podem ter uma finalidade produtiva, visto que esse sistema pressupõe a possibilidade de haver uma cultura agrícola economicamente viável na terra utilizada.

O objetivo básico que a presente pesquisa pretende atingir é o de estudar experimentalmente o solo como elemento depurador de esgotos domésticos e chegar a parâmetros para projetos, tanto para sistemas de disposição de esgotos decantados como de efluentes de sistemas de tratamento secundários. Para tanto, foram utilizados dois sistemas, o primeiro consistindo de decantador primário e campo de disposição com cultura de milho e o segundo consistindo de decantador primário, lagoa de estabilização facultativa e campo de disposição com cultura de couve. As experiências foram realizadas no "campus" do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, da Escola de Engenharia de São Carlos — USP, no período de 1982 a 1983.

Como objetivos secundários, a pesquisa pretendeu acompanhar os efeitos da disposição continuada dos despejos no desenvolvimento das plantas, bem como a variação da fertilidade do solo. Tendo em conta as naturais limitações para o acompanhamento do comportamento biológico dos vegetais utilizados, assim como da variação das características do solo, o desenvolvimento vegetal foi analisado com a quantificação da biomassa produzida e a fertilidade do solo analisada através de exames rotineiros para agricultura.

Em razão de que resíduos orgânicos são perfeitamente metabolizados e estabilizados por microrganismos presentes no solo, a pesquisa baseia-se na hipótese de que o sistema solo-microrganismos pode estabilizar o esgoto doméstico e fornecer nutrientes minerais para as plantas que os utili-

zariam para seu processo de crescimento.

Com os dados resultantes do trabalho, pretende-se melhor definição das áreas e condições para implantação de sistemas biológicos de depuração de esgotos domésticos por disposição no solo, integrados com alternativas de reciclagem de nutrientes minerais. No planejamento urbano, atualmente, está sendo vista de forma cada vez mais importante a destinação de áreas para a depuração dos resíduos provenientes de metabolismo urbano, sendo que dados quantitativos para a definição dessas áreas terão uma importância bastante grande.

3 Revisão de Literatura

3.1 Evolução histórica da utilização de sistemas de tratamento de esgotos por disposição no solo

A disposição de esgotos domésticos no solo, como processo de tratamento comunitário, é uma das práticas mais antigas. Historicamente, relata-se a sua utilização em Atenas, antes da era cristã; em Bunzlau, Alemanha, tem-se notícia de um sistema de irrigação com esgotos que entrou em operação em 1559 e foi utilizado por mais de 300 anos (46).

O uso de fazendas para tratamento de esgotos na Inglaterra se tornou prática comum no início do século XIX, sendo que por volta de 1870 esse sistema foi introduzido nos Estados Unidos. Muitos outros países na Europa e Ásia têm longa história na utilização de sistemas de tratamento de esgotos por disposição no solo (33).

Desde 1897, a cidade de Melbourne, Austrália, com população no final da década de 70 da ordem de 2.700 mil habitantes, tem tratado seus esgotos por disposição no solo, em uma fazenda que ocupa área de 10.850 hectares, situada a 35 quilômetros da cidade (45).

Vale ressaltar que os exemplos citados não constituem casos isolados, restritos a uma determinada época. Segundo Nucci (48), no início deste século foi bastante intensa a utilização de sistemas de tratamento de esgotos por disposição no solo, sendo que era a alternativa que apresentava melhores resultados. Cidades do porte de Berlim, México e Melbourne tiveram seus sistemas implantados nessa época e continuam em operação até hoje, com resultados surpreendentes, isso sem contar as inúmeras pequenas cidades, espalhadas pelo mundo, cujo tratamento por sistemas desse tipo tem pres-

tado um grande serviço à preservação do meio ambiente.

No século XIX e início do século XX o mundo assistiu a algumas transformações que terão reflexo em quase todas as nossas atividades até os dias atuais. Três dessas transformações tiveram bastante influência no enfoque a ser dado para tratamento de esgotos domésticos.

A primeira delas foi a Revolução Industrial, que modificou as atividades da coletividade de maneira intensa em várias partes do mundo e impulsionou de forma definitiva o fenômeno da urbanização. Segundo Gottmann (65), a urbanização é "o processo econômico e social, político e cultural, que conduz a humanidade até formas novas de civilização, formas cada vez mais urbanas, quer dizer, não agrícolas, e que repousam sobre formações de elevada densidade e sobre ocupações divorciadas do trabalho na terra".

Se a população mundial está aumentando durante o presente século a uma taxa muito maior que em qualquer época passada, a população dos centros urbanos tem aumentado a um ritmo maior que a população total. Como exemplo, até o século XVII as cidades tiveram uma taxa de crescimento da ordem de 0,5% ao ano. No século XIX essa taxa passou para 2,0% ao ano e no século XX alcançou valores de 5% ao ano, enquanto o crescimento mundial no nosso século está por volta de 1,4% ao ano (26, 65).

A segunda foi o enfoque para saúde como algo que devesse ser regido pelo Estado. A industrialização da economia e a nova realidade social por volta da segunda metade do século XIX serviram para dar corpo à idéia de medicina social, onde o Estado deveria atuar de forma efetiva na preservação e implementação da saúde dos indivíduos, por ser a mesma assunto de interesse da coletividade. Desse enfoque surgem códigos regulamentadores para as diversas atividades humanas, com o intuito de melhorar as condições de saúde dos indivíduos e da comunidade, bem como ações efetivas no campo da higiene social. Isto ocasiona um aumento da vida média das pessoas, bem como um incremento da natalidade (59).

Essas duas primeiras transformações fomentaram bastante o enorme crescimento das cidades observado nas primeiras décadas do nosso século, o que acarretou uma grande valorização das terras urbanizáveis próximas às cidades.

A terceira transformação foi desencadeada pelo cientista alemão Liebig, em meados do século XIX, com a confirmação de serem os elementos minerais nitrogênio, fósforo e potássio, principalmente, os nutrientes responsáveis pela alimentação das plantas e

não os compostos orgânicos (como era considerado até então). A partir de 1840, temos uma verdadeira invasão dos fertilizantes químicos em detrimento dos fertilizantes de origem orgânica, o que fez com que atividades de reciclagem fossem colocadas de lado, como procedimento ultrapassado (37, 67).

Com essa ótica, as soluções compactas para tratamento dos esgotos passaram a ser apontadas como a melhor alternativa para o problema, por efetivarem a depuração dos esgotos domésticos, sob o ponto de vista da preservação da saúde, com a utilização de menores áreas. Como a agricultura tinha acesso aos fertilizantes químicos em abundância, a reciclagem da matéria orgânica passou a não ter importância fundamental.

Essa visão imediatista perdurou por várias décadas, até quase os nossos dias. Mais recentemente, com o agravamento dos problemas de poluição, eutrofização dos corpos d'água e escassez de nutrientes minerais, tem sido cogitada cada vez com maior seriedade a integração das atividades de tratamento de esgotos e reciclagem da matéria orgânica, de forma que disposição no solo voltou a ter a importância devida.

Nos últimos 20 anos renovou-se o interesse, em várias partes do mundo, pelo uso de tratamento de esgotos por disposição no solo. Este novo enfoque teve início por volta do final da década de 60, quando, coincidentemente ou não, apareceu um novo conceito de desenvolvimento (33).

Exemplo dessa mudança pode ser constatado através da Emenda de 1977 ao Ato Federal de Controle da Poluição da Água, nos EUA, que contém cláusula que determina que a U.S. Environmental Protection Agency não conceda licença para a execução de sistema de tratamento de esgotos através de processos convencionais, antes que tenha sido satisfatoriamente comprovado que técnicas de reciclagem, disposição no solo ou processos inovadores de reutilização não se mostrem viáveis (33).

No Brasil, não existe até agora uma política de incentivo a tratamento de esgotos por processos que prevêem reciclagem. Todavia, a idéia tem conseguido sensibilizar pesquisadores e instituições, que têm procurado investir nestas alternativas. Dentro dessa realidade, a disposição no solo tem um espaço que poderá ser ocupado e ampliado.

3.2 Poluição e contaminação dos corpos d'água

Das finalidades de se promover a depuração dos esgotos, aquela que tem

sido posta em maior evidência é a de se evitar poluição e contaminação dos corpos d'água onde os esgotos são dispostos. Cabe aqui alguma explanação sobre esses dois fenômenos citados.

Para se ter uma compreensão do que é poluição, é importante uma visão do ciclo energético na natureza.

Segundo Branco (8), as plantas verdes, através da fotossíntese, conseguem sintetizar sua estrutura celular com a utilização de elementos minerais, gás carbônico, água, usando como fonte de energia a luz solar. Nessa atividade, os vegetais liberam como subproduto o oxigênio, que vai para o ambiente.

Para atender a suas necessidades vitais, os animais e os seres humanos ingerem compostos orgânicos obtidos direta ou indiretamente dos vegetais, sendo que esses compostos são basicamente energia concentrada pela fotossíntese. Para conseguir quebrar esses compostos e utilizar essa energia, é imprescindível, no ambiente em que vivem esses animais, a presença do oxigênio que, ao oxidar esses compostos orgânicos, libera energia e gás carbônico. É o fenômeno da respiração.

Restos orgânicos e carcaças de animais mortos são decompostos por microrganismos decompositores, resultando daí sais minerais e gás carbônico, os quais são utilizados pelas plantas verdes para a fotossíntese, fechando dessa forma o ciclo. Uma esquematização desse ciclo pode ser vista na figura 3.1.

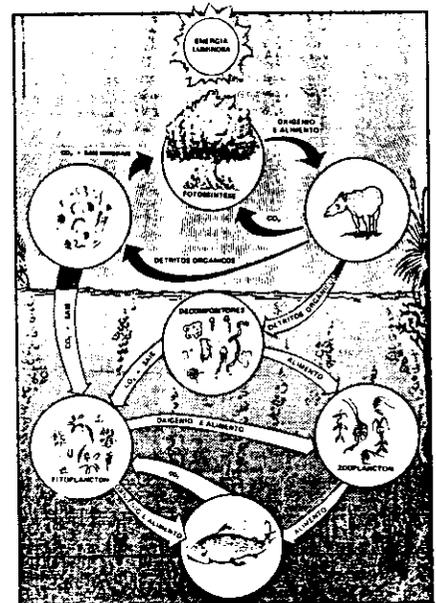


Figura 3.1 — Ciclo energético na natureza, da luz solar ao peixe. Fonte: Branco (8)

Numa determinada cadeia ecológica, a alteração da quantidade de qualquer um dos componentes ocasiona um desequilíbrio. No caso de desequilíbrio

ocasionado por excesso de um dado elemento, denominamos esse fenômeno de poluição. A nocividade da poluição tem um caráter predominantemente passivo, ou seja, não é exatamente a introdução de um determinado componente no ciclo que, de forma direta, vai afetar a existência dos seres vivos daquele ambiente. O que ocorre é que a poluição acarreta a perda das condições propícias à vida de determinadas espécies de animais ou vegetais.

Quando lançamos esgoto doméstico em um corpo d'água, estamos fornecendo matéria orgânica em excesso para os decompositores que, em vista de seu crescimento extremamente rápido, se desenvolvem em grande número e consomem grande parte do oxigênio presente, podendo mesmo ocasionar uma depleção completa desse elemento. Com isso temos as condições que levam à morte peixes e organismos aquáticos, uma vez que seus metabolismos são tipicamente aeróbios.

Contaminação não está ligada diretamente ao ciclo ecológico de uma determinada cadeia. O que ocasiona contaminação é a introdução no meio de um dado elemento que tem ação nociva direta para quem consome ou vive nessa água. O exemplo típico é a introdução de um elemento tóxico ou um microrganismo patogênico que ocasiona efeito deletério para quem beba dessa água. Diante do exposto, pode-se perceber que contaminação tem um caráter tipicamente ativo (8).

De forma concisa, podemos dizer que poluição está bastante mais associada à degradação ambiental, cujas consequências são sentidas pelo homem de forma indireta, enquanto que contaminação está mais associada a riscos sanitários para o homem, funcionando a água como veículo de doenças.

Todavia, é importante ressaltar que a poluição pode significar um custo imediato bastante alto, se pensarmos em processos cada vez mais complexos para tratamento de água para abastecimento público, ou a perda de uma fonte de proteína animal bastante nobre e acessível, quando o corpo d'água passa a não permitir a sobrevivência de peixes (7, 8).

No caso da disposição de esgotos domésticos em corpos d'água existe o fenômeno da poluição, pois a matéria orgânica presente promove uma depleção do oxigênio devido à sua degradação. Além disso, temos contaminação, pois os esgotos veiculam inúmeros patogênicos, os quais poderão transmitir doenças para os usuários da água do corpo receptor (7, 8).

3.3 Mecanismos de depuração dos esgotos no solo

O solo não pode ser visto somente como um meio físico, onde as plantas superiores se fixam, mas principalmente como o *habitat* de organismos microscópicos, responsáveis talvez pelos ciclos mais importantes da natureza. Esses microrganismos decompositores transformam a matéria orgânica morta que vem ter ao solo em compostos minerais, os quais são elementos indispensáveis ao processo da fotossíntese, pelo qual as plantas verdes produzem matéria orgânica viva. Portanto, é bem provável que, sem esse elo da cadeia trófica, a vida em nosso planeta já teria deixado de existir (1, 48, 60).

O solo tem uma composição variável de lugar para lugar, embora em um mesmo local sua composição varie relativamente pouco com o tempo. O solo é composto basicamente por cinco parcelas (1, 44), quais sejam:

- a) parcela mineral;
- b) matéria orgânica;
- c) ar;
- d) água;
- e) microrganismos vivos.

De certa forma, a proporção entre os componentes está intimamente relacionada. Quanto menores as partículas da parcela mineral, maior a quantidade de vazios entre elas, numa mesma porção de solo. Isto implica uma maior parcela ar-água, já que esses dois elementos ocupam esses vazios. Isto possibilita que haja maior proliferação de organismos vivos. Todavia, partículas muito pequenas dão diâmetros de vazios muito pequenos, fazendo com que a percolação da água e do ar no solo seja dificultada, restringindo dessa forma o aparecimento de seres vivos (44).

Como em todos os fenômenos de transporte, a percolação de ar e água no solo dá-se por diferença de concentração. No caso do ar, como no solo existe uma atividade biológica que consome oxigênio, a concentração desse elemento baixa, de forma que a concentração na atmosfera torna-se maior. Desse modo, forma-se um fluxo de ar no sentido atmosfera-solo. Quanto ao CO₂ liberado pelos organismos, o mecanismo é semelhante, porém, com sentido contrário. Este intercâmbio de certa maneira explica a maior concentração de organismos junto à superfície, numa faixa de aproximadamente 1,5 metro, sendo que perto de 77% dos seres estão nos primeiros 8 (oito) centímetros de solo (1,16).

Como visão geral, o solo tem a seguinte composição (1, 44):

— Parcela mineral	46%
— Matéria orgânica	4%
— Ar-água	50%
— Microrganismos	1%

A parcela viva do solo, como vimos, é bem pequena, se comparada com as outras. Todavia, devido à sua função nos mecanismos de depuração, sua importância é facilmente compreendida.

Além dos microrganismos, o solo como meio físico-químico atua sobre os esgotos, auxiliando na depuração dos mesmos. O efeito de filtração, para retenção de partículas suspensas no esgoto, e a capacidade de adsorção iônica das argilas são exemplos dessa atuação (60).

Como vimos, o ecossistema formado pela interação do meio físico com os organismos presentes no solo é bastante complexo, o que faz com que o equilíbrio resultante dessa interação seja bastante estável. Se o fluxo de matéria disposta sobre esse solo, representado pela disposição de esgotos, estiver dentro da capacidade de absorção desse ecossistema, as reações bioquímicas e físicas resultarão na estabilização dessa carga potencialmente poluidora (48, 60).

Com o intuito de oferecer uma visão sobre os mecanismos de depuração dos esgotos domésticos no solo, será feita a seguir uma explanação sobre os processos de remoção dos principais poluentes presentes no esgoto.

3.3.1 Matéria Orgânica Biodegradável

Os compostos orgânicos biodegradáveis são estabilizados pela integração de processos físicos, químicos e biológicos. A parcela não solúvel é retida nos interstícios do solo, pelo efeito de coar, e então atacada pelos microrganismos presentes, que efetuam sua estabilização. A esse respeito, é importante ressaltar que, em condições anaeróbias, há o aparecimento dos poros do solo, inviabilizando uma utilização para tratamento dos esgotos. Dessa maneira, é importante que se mantenham as condições aeróbias no processo, o que é conseguido com intervalos entre as aplicações de forma a permitir uma aeração do solo (48, 60).

Os compostos solúveis são estabilizados pela ação dos microrganismos que ficam aderentes aos grãos do solo ou na zona radicular das plantas, sendo que o contato é feito por ocasião da percolação do esgoto pelo solo, ou seu escoamento junto à zona de raízes.

Dessa forma, as plantas têm significado bastante especial nos processos, não só aumentando a aeração, como fornecendo suporte para os orga-

nismos decompositores quando o solo tiver permeabilidade baixa.

3.3.2 Organismos

Uma das preocupações mais sérias com a disposição de esgotos no solo diz respeito à eliminação dos organismos presentes nos esgotos. Isto porque boa parte deles são patogênicos, com ação deletéria sobre a saúde do homem.

A retenção física no processo de infiltração e a ação dos microrganismos autóctones ao solo são a forma mais eficiente de eliminação de patogênicos. Por ter naturalmente uma atividade biológica bastante intensa, a competição vital é fator altamente eficiente para extermínio de microrganismos patogênicos que geralmente estão adaptados às condições reinantes no organismo do homem, totalmente diferentes daquelas existentes em um solo aerado (48, 60).

Têm sido observadas reduções da ordem de 95% dos microrganismos presentes nos esgotos logo na primeira parcela de solo, com menos de 5 centímetros de espessura, o que confirma a eficiência da competição vital, se levarmos em conta que nessa faixa temos a quase totalidade dos organismos autóctones (1, 24, 48, 60).

3.3.3. Nitrogênio e Fósforo

O conjunto solo-plantas, bem como os processos vitais das últimas, são os maiores responsáveis pela remoção dos nutrientes presentes nos esgotos. Apesar de o nitrogênio e o fósforo não serem os únicos nutrientes presentes nos esgotos, a remoção desses dois tem grande importância, em vista das altas concentrações relativas entre ambos e os demais.

O nitrogênio presente nos esgotos está na forma orgânica e, de maneira geral, não é absorvido pelas plantas. Esse nutriente é utilizado na forma iônica como amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), que são conseguidos através de oxidação biológica do nitrogênio orgânico. O íon amônio é retido pela argila ou humus presente no solo, o que reduz bastante a lixiviação. Todavia, o íon nitrato é facilmente arrastado pela água que percola pelo solo, podendo atingir o lençol freático. Diante disso vê-se que as plantas localizadas no campo de disposição dos esgotos têm papel importante na remoção de nitrogênio (37, 41, 42, 67).

Como outra forma de remoção de nitrogênio, temos a desnitrificação, fenômeno de redução do nitrato a nitrato e, finalmente, à forma elementar N_2 , que escapa para a atmosfera. É um

fenômeno puramente biológico e ocorre em condições anaeróbias (8, 60).

O fósforo no solo, após oxidação, ou vai para a solução do solo e dessa forma é aproveitado pelas plantas, ou forma compostos inorgânicos com baixa solubilidade. No caso dos compostos orgânicos, o fósforo poderá ser fixado no solo através de:

- adsorção pelas argilas;
- adsorção pelos hidróxidos de ferro e alumínio;
- precipitação com o ferro, o alumínio ou o manganês;
- formação de compostos de cálcio;
- formação de compostos orgânicos (37, 40, 67).

De maneira geral, os fenômenos de fixação do fósforo ocorrem nos primeiros 50 centímetros do solo. Quanto mais impermeável for o solo, mais facilmente essa camada superficial tenderá a acumular fósforo e, conseqüentemente, o campo de disposição terá sua capacidade de remoção de fósforo bastante reduzida. Todavia, mesmo em sistemas que operam campos de disposição há bastante tempo, não têm sido observadas reduções sensíveis nas taxas de remoção de fósforo. Isto é explicado, de certa forma, pela presença contínua de matéria orgânica no solo que, ao ser decomposta, produz ácidos orgânicos que solubilizam os compostos de fósforo e dessa forma permitem sua assimilação pelas plantas (37, 48, 60, 67).

3.3.4 Metais pesados

Metais pesados solúveis são bastante problemáticos, pois podem ser incorporados na cadeia alimentar e sofrer processo de acumulação. Sua retenção no solo deve-se a fenômenos de adsorção em silicatos e matéria orgânica, além de precipitação com carbonatos (48, 60).

Quando em regime anaeróbio, o gás sulfídrico proveniente da decomposição de compostos orgânicos precipita metais pesados, que são retidos pelo solo (72).

De maneira geral, esgotos domésticos têm apresentado baixos teores de metais pesados, a ponto de não apresentar problemas de toxidez para as plantas do campo de disposição.

3.3.5 Compostos orgânicos resistentes à biodegradação

Compostos como os organoclorados, fenóis ou surfactantes são resistentes à biodegradação, sendo ainda bastante tóxicos. Sua remoção no solo é determinada por uma série de processos como a adsorção pelos colóides do



Foto 1 — Vista geral da impermeabilização da valeta de drenagem



Foto 2 — Vista geral da drenagem sendo resterrada

solo, volatilização, decomposição química, absorção pelas plantas, sendo que vários processos podem ocorrer simultaneamente (48, 60).

De forma geral, com exceção dos detergentes, a presença desses compostos em esgotos domésticos é bastante baixa.

3.4 Formas de disposição dos esgotos no solo

3.4.1 Introdução

A disposição dos esgotos no solo obedece à mesma linha básica preconizada para irrigação agrícola, ou seja: distribuir o afluente pela superfície do terreno de maneira uniforme, evitando-se que essa distribuição afete a estrutura do solo devido a ações físicas.

Quanto à distribuição uniforme do efluente pela superfície, cabe uma consideração. Quando se fala em distribuição uniforme, pressupõe-se que toda a área em questão seja homogênea, principalmente no tocante à taxa de infiltração. Isto porque, se tivermos condições diferenciadas quanto à infiltração, teremos condições distintas de escoamento e percolação, e, conseqüentemente, distintas concentrações de poluentes ao longo da superfície. Essa diversidade em áreas reduzidas pode ocasionar problemas para a depuração dos esgotos, recomendando-se que cada parcela do campo de disposição seja a mais homogênea possível.

A nomenclatura adotada para os métodos de disposição de esgotos no solo é a mesma usualmente utilizada em práticas agrícolas, quer pela semelhança entre os processos, quer pela inexistência de nomenclatura específica para disposição de esgotos.

3.4.2 Métodos de Irrigação

Para a aplicação de água na irrigação três métodos são utilizados, dependendo da forma como a água é distribuída pela superfície, quais sejam: métodos de aspersão, métodos de superfície e métodos de subsuperfície (53).

Métodos de aspersão são aqueles que procuram simular a chuva, com a água sendo distribuída pelo campo através de tubulação sob pressão e aspergida sobre o solo, caindo na forma de precipitação. Este método adapta-se para solos com boa capacidade de infiltração, associados a solos com topografia ondulada, onde a sistematização ou terraceamento são de difícil execução.

Métodos de superfície são aqueles em que a água é levada para as diferentes partes do campo de irrigação por canais, sendo que a partir daí é distribuída através de escoamento superficial. Para que se tenha o escoamento superficial, é necessário que a água se acumule no solo, ou seja, que a taxa de aplicação seja maior que a taxa de infiltração; pela ação da gravidade temos o escoamento, aproveitando a declividade do terreno.

Neste caso temos o inverso do que ocorre no método de aspersão, onde a taxa de aplicação deverá sempre ser inferior à taxa de infiltração. Para o bom funcionamento do sistema, a taxa de aplicação deverá ser suficientemente alta para permitir uma rápida distribuição da água pela superfície, e suficientemente baixa para evitar problemas de erosão superficial.

Os métodos de superfície podem ser divididos em dois grupos, o primeiro quando toda a área é coberta pela água

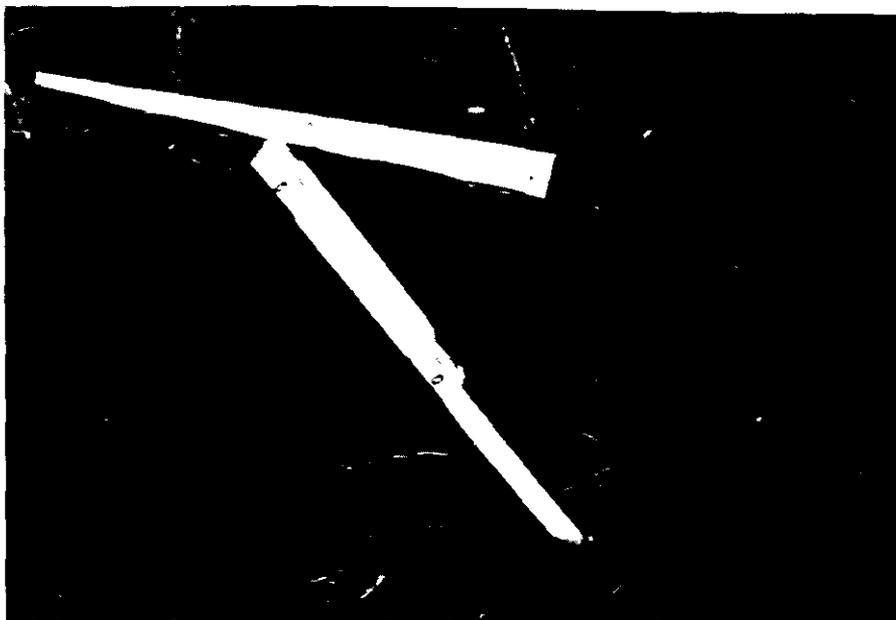


Foto 3 — Detalhe da valeta de drenagem



Foto 4 — Vista do distribuidor de esgoto do campo primário

(inundação) ou quando apenas parte fica imersa (sulcos ou gotejo).

No caso de inundação, toda a superfície é coberta pela água e seu movimento se dá sem a formação de sulcos ou caminhos preferenciais. Para isso é necessário que o campo de irrigação tenha pequena declividade e não existam depressões ou ondulações.

No caso de sulcos, a água é espalhada pela superfície através de sulcos cuja profundidade e espaçamento dependem das características de solo e cultura. No caso de espaçamento, a função é manter a umidade do solo a mais homogênea possível. Quanto à declividade, deve-se tomar cuidado para não se ter problema com erosão.

Este método pode ser utilizado com terrenos que apresentem topografia levemente ondulada.

Na irrigação por gotejo, a água é levada até a planta através de tubulação, sendo que existe uma tomada por onde é feito o gotejo. Apesar de ser método de superfície, difere bastante dos outros dois, tendo em vista ser processo contínuo cuja maior preocupação é minimizar as perdas por evaporação.

Métodos de subsuperfície são aqueles onde a água é encaminhada até a zona radicular através de escoamento subsuperficial, que pode ser feito utilizando a própria porosidade do solo ou com utilização de tubulação perfurada.



Foto 5 — Vista geral do campo de disposição primário, com campo-testemunho à esquerda



Foto 6 — Detalhe do sulco entre as fileiras de milho

É processo de operacionalidade bastante complicada, utilizável em pequenas áreas.

3.4.3 Métodos aplicáveis à disposição de esgotos

Dos métodos de irrigação descritos anteriormente (de aspersão, de superfície e de subsuperfície) interessam para a disposição de esgotos somente os dois primeiros. Isto devido às características do esgoto doméstico, principalmente a presença de sólidos suspensos e sedimentáveis, que faz com que a disposição de esgotos através de métodos de subsuperfície seja de operação bastante complicada, praticamente inviável.

Qualquer que seja o processo de disposição adotado, os métodos de depuração do esgoto são três (33, 48):

- a) Método de infiltração-percolação;
- b) Método de infiltração rápida;
- c) Método de escoamento à superfície.

O tipo de método de depuração está vinculado às características físicas do solo no local de disposição e à relação entre capacidade de infiltração e taxa de disposição. De maneira geral, independentemente da forma como o esgoto é disposto sobre o solo, o que vai condicionar o seu método de depuração é a forma com que o mesmo vai escoar.

Tanto para o método de infiltração-percolação como para o de infiltração rápida, o mecanismo de depuração é o de filtração e ataque do esgoto pelos microrganismos presentes no solo, com predominância de ação biológica na camada mais superficial. Em ambos os casos, deve-se alternar as regas com período de secagem, para permitir uma perfeita aeração do solo. Além disso, deve ser prevista lagoa de armazenamento que preceda o sistema, de maneira a evitar que em época de chuvas constantes seja necessário dispor o esgoto em corpos d'água por falta de capacidade de infiltração do solo.

A diferença fundamental entre os métodos de infiltração-percolação e infiltração rápida é que, no primeiro, os vegetais têm uma participação fundamental no tratamento, para retirada dos nutrientes mineralizados, estando portanto as taxas de aplicação diretamente ligadas à capacidade resistente da cultura aos poluentes, assim como à quantidade de água aceitável. No segundo, as taxas de aplicação são reguladas pela capacidade de infiltração do solo, pela sua capacidade de drenagem e pelo tempo necessário para a secagem do terreno. Neste caso as plantas não têm função no tratamento, podendo nem serem utilizadas, a não ser por outros motivos. Isto nos leva a taxas de aplicação mais elevadas.

No método de escoamento à superfície, devido à sua baixa capacidade de infiltração, o solo quase não toma parte no tratamento. Neste caso, o esgoto é depurado por microrganismos presentes na vegetação rasteira, por onde existe um escoamento bastante lento, sendo que os minerais resultantes do processo são absorvidos pelas plantas.

3.5 Métodos de depuração de esgotos no solo

3.5.1 Introdução

Para um bom desempenho de sistema de tratamento de esgotos por disposição no solo é importante que o método de depuração adotado seja o mais condizente com as características físicas do local de disposição, condições climáticas e constituição do esgoto. Além disso, características de contorno à área, tais como recursos hídricos e proximidade com área habitada, podem influir de maneira sensível na escolha do método (48).

As características físicas tais como topografia do terreno, capacidade de infiltração do solo e, espessura de solo agricultável, condicionam bastante o tipo de escoamento e as possibilidades



Foto 7 — Vista geral do campo de disposição secundário, com campo-testemunho à esquerda

de cultivo de vegetais no campo de disposição.

Condições climáticas influenciam tanto a atividade microbiológica responsável pela depuração da matéria orgânica, como o desenvolvimento das plantas participantes; além disso, ao longo do ano a variação das condições de precipitação e evapotranspiração pode levar a variações das condições de escoamento.

No caso de esgotos domésticos, com características tipicamente orgânicas, a escolha do método está vinculada às características do solo e clima. Todavia, com esgotos que recebam contribuição de atividades industriais, podemos ter uma melhor eficiência no tratamento em função do método escolhido.

3.5.2 Método de infiltração-percolação

Este método pressupõe, basicamente, que a camada de solo acima do lençol freático seja suficientemente espessa e permeável. Assim condicionada, a maior parcela do esgoto aplicado irá percolar através dessa camada de solo até atingir o lençol freático. Parte do esgoto será incorporada pela vegetação, que é parte integrante desse método, e, por sua vez, elimina parcela da água para a atmosfera pela transpiração.

Existem ainda duas parcelas que passam por processos distintos. Uma delas é a que evapora, indo para a atmosfera. A outra é incorporada ao solo na forma de umidade ou através de reações químicas com os elementos que a constituem.

Neste método é muito importante manter-se condições tais que permitam a aeração do solo. Isto é conseguido

através de alternância das operações de rega com períodos de secagem. Esta aeração, além de manter as condições necessárias para metabolismo aeróbio, permite também condições para desenvolvimento das plantas, que constituem componente bastante importante na retirada dos nutrientes estabilizados.

Uma maneira de se conseguir essa alternância entre rega e secagem é prever-se um parcelamento do campo de disposição, de maneira que se tenha parte do mesmo em operação enquanto parte está em repouso. Para prever problemas operacionais em ocasiões de chuvas continuadas, que diminuiriam sensivelmente a capacidade de infiltração, deve-se ter lagoa de acumulação que armazene a parcela excedente.

Dependendo das características topográficas do terreno de disposição, a utilização de um determinado método de irrigação tem vantagens sobre os demais.

— Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão aplica-se a terrenos com grandes declividades, entre 15% e 20% (48), tendo em vista que esse processo minimiza os riscos de erosão. Apresenta como vantagem a possibilidade de disposição em solos com qualquer tipo de cobertura vegetal, inclusive florestas. Todavia, devido ao fato de formar aerossóis, pode trazer problemas de saúde pública, como o transporte de microrganismos patogênicos a grandes distâncias.

Os custos do equipamento de aspersão são bastante elevados, com necessidade de pessoal habilitado para operação. Isto pode ser compensado pelo fato de permitir a utilização de áreas de aproveitamento mais difícil. Outro

aspecto importante a ser levado em conta é a possibilidade de entupimentos frequentes, que exigem uma manutenção constante.

— Irrigação por inundação

Aplica-se a terrenos com pequenas declividades (até 4% a 6%) (48), sendo que, para manter o terreno inundado, é necessária a construção de pequenos diques no contorno da área de disposição. O encaminhamento do esgoto até a área é feito de forma bastante simplificada, com canais que dão acesso a cada parcela de rega. Para este método, devem ser utilizadas plantas que aceitem o encharcamento do solo, tais como algumas espécies de plantas forrageiras (53).

— Irrigação por sulcos

Aplica-se a terrenos com declividades medianas, até 10% (48), devido à possibilidade de erosão. De maneira geral o esgoto é encaminhado para o campo de disposição através de canais que acompanham a direção das curvas de nível, sendo que os sulcos saem no sentido de maior declividade. Em terrenos com declividades excessivas, essa configuração pode inclusive ser invertida, com os canais de alimentação no sentido de maior declividade e os sulcos acompanhando as curvas de nível.

Quanto ao tipo de vegetação, esse método é aplicado para culturas que não resistem à inundação, bem como aquelas que são cultivadas em fileiras.

A sistematização do terreno para a aplicação do esgoto é bastante simples, com boa parte do trabalho feita manualmente. Somente em terrenos com declividades excessivas são necessários trabalhos de revestimento em canais, para evitar-se erosão (53).

3.5.3 Método de infiltração rápida

Este método, da mesma forma que o método de infiltração-percolação, exige que a camada de solo acima do lençol freático seja espessa e permeável. Todavia, neste caso, as capacidades de infiltração e drenagem devem ser elevadas para permitir boas condições de escoamento, em vistas das altas taxas de esgoto aplicadas.

Para a aplicação dos esgotos, o método mais utilizado é o de inundação, com declividades entre 4% e 6%, sendo que neste caso a presença de vegetação não é necessária para o processo de depuração (48).

Para se permitir alternância nas operações de rega, deve-se parcelar a área de disposição de forma a permitir períodos de secagem. Assim como no método infiltração-percolação, deve-se prever lagoa de acumulação

precedendo o sistema para reservar parcela que não se infiltra em época de chuvas continuadas.

Para melhorar as condições superficiais do campo de disposição, minimizar a colmatção, bem como evitar a erosão, pode-se dispor camada de pedregulho ou areia grossa sobre o solo natural, com redução gradual do diâmetro até aquele do solo.

3.5.4 Método de escoamento à superfície

Este método foi desenvolvido como alternativa para solos que apresentem permeabilidade muito baixa. O que se pretende é, através do cultivo de vegetação adequada, melhorar a porosidade na região radicular mais superior, de maneira a que o escoamento se dê superficialmente e nessa delgada zona subsuperficial.

Os microrganismos presentes tanto na película superficial do solo como na própria vegetação são os responsáveis pela depuração do esgoto. Durante o escoamento, além da atividade biológica de decomposição, o resíduo sofre ação física e química do meio, o que resulta em sua estabilização. Neste método, as plantas presentes no campo de disposição têm papel fundamental na retirada de nutrientes.

A maior parcela do esgoto disposto escoar superficialmente e é encaminhada para corpo d'água. Durante o escoamento, esta parcela se evapora e é incorporada na atmosfera. Parcela bem pequena é infiltrada e agregada ao solo na forma de umidade.

Para se evitar erosão, as declividades do terreno devem estar na faixa de 2% a 4% (48), não se recomendando a aplicação em terrenos planos, o que possibilita o empoçamento. Para a aplicação do esgoto no solo, podem-se utilizar canais ou aspersores, localizados na parte mais alta do campo de disposição.

3.5.5 Condições para implantação

Conforme foi apontado anteriormente, existem alguns aspectos básicos que condicionam a concepção e implantação de sistemas de disposição de esgotos no solo. Estes aspectos podem ser resumidos nos itens seguintes:

- disponibilidade e localização da área;
- topografia;
- solo;
- clima;
- tipo de cultura agrícola;
- recursos hídricos.

3.5.5.1 Disponibilidade e localização da área

Por ser sistema que necessita de áreas consideráveis, a primeira preocupação para o planejamento é escolher área compatível com o tamanho da cidade, cuja localização não traga problemas. O que deve ser ressaltado nessa etapa é que o sistema não necessita ser necessariamente concentrado, podendo perfeitamente ser feito tratamento por bacia, de maneira independente. Dessa forma, além de utilizar áreas menores, parceladas, podem-se aproveitar condições específicas das bacias para diminuição das extensões de emissários e dispensa de elevatórias de esgotos e emissários por recalque.

Quanto ao tamanho da área necessária, as taxas de aplicação usuais têm apontado valores desde 7,5 a 100 m² por habitante atendido (48, 60), sendo o valor menor para sistemas que utilizam método de escoamento à superfície e o valor maior para sistemas com método de infiltração-percolação.

Por se tratar de sistema com possibilidade de ocorrência de etapas anaeróbias, com odores muitas vezes agressivos, além de possibilitar aparecimento de insetos, a localização da área de disposição deve ser feita de maneira que os ventos predominantes não levem os odores para a área habitada, além de se prever faixa de proteção sanitária, preferivelmente arborizada, que dificulte o percurso de insetos e aerossóis.

3.5.5.2 Topografia

A topografia do terreno condiciona basicamente o tipo de irrigação utilizada para disposição dos esgotos no solo. Em casos de declividades acentuadas, acima de 20%, qualquer método de irrigação pode comprometer a estrutura do solo, causando erosão. Neste caso, pode-se pensar em fazer terraceamento como forma de diminuir a declividade natural (48).

A respeito das condições topográficas para cada método de irrigação, as condições de aplicabilidade estão descritas no item 3.4.2. (Métodos de irrigação).

3.5.5.3 Solo

As principais características do solo que condicionam os métodos de depuração de esgotos são a textura, a capacidade de infiltração, a espessura, a permeabilidade, a drenagem e a RAS-Relação de Adsorção do Sódio.

No caso da textura, solos com maiores teores de argila permitem maior eficiência na remoção e retenção de

poluentes, enquanto que solos com maiores teores de areia permitem maiores taxas de aplicação. De maneira geral, qualquer textura de solo permite a disposição de esgotos, condicionando somente o método de depuração, ocorrendo o mesmo com a capacidade de infiltração, espessura, permeabilidade e drenagem.

A RAS procura associar a concentração de sódio presente no solo com as concentrações de cálcio e magnésio. Esta relação assume importância bastante grande, pois pode criar condições de impermeabilização. Quando a concentração de sódio torna-se muito grande em comparação às concentrações de cálcio e magnésio em solos argilosos, temos o inchamento e impermeabilização desse solo, que impedem a boa aeração do mesmo quando molhado. Dessa forma, durante o processo de disposição, é necessário que as concentrações desses metais no solo e esgoto apresentem proporções equilibradas. Para valores da RAS superiores a 9 ou 10 é necessária uma verificação prévia das possibilidades de inchamento. Valores da RAS superiores a 15 geralmente inviabilizam a disposição do esgoto no solo (48, 53).

A determinação da relação de adsorção do sódio é determinada pela expressão seguinte (48, 53).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

onde as concentrações dos íons são expressas em miliequivalentes/litro.

3.5.5.4 Clima

As condições climáticas que interferem de maneira mais sensível são a precipitação pluviométrica, a evaporação, a temperatura e os ventos. Tanto a altura das precipitações como o regime das chuvas podem interferir negativamente no processo, dificultando sobremaneira o estabelecimento de turnos de rega.

A evaporação atua como fator positivo, auxiliando a secagem do solo. Temperaturas mais elevadas, além de melhorar as condições de secagem, permitem uma atividade microbológica mais intensa, que aumenta a capacidade depuradora do solo.

Além de a intensidade dos ventos influir sobremaneira no fenômeno de evaporação, a direção dos mesmos é importante na localização da área de tratamento em relação às habitações próximas.

3.5.5.5 Tipo de cultura agrícola

Para os métodos de depuração de infiltração-percolação e escoamento à superfície as plantas têm papel fundamental no tratamento, com sua atividade de estruturação do solo e retirada de nutrientes. No caso específico de escoamento à superfície, basicamente temos a vegetação como componente principal.

Nestes casos, para se evitar problemas de ordem de saúde pública, a escolha da vegetação mais apropriada para cada caso deverá levar em conta ainda o tipo de utilização posterior da cultura agrícola. Em alguns casos, como verduras que são consumidas cruas, sua utilização é condenável (18, 48).

3.5.5.6 Recursos hídricos

A atividade de tratamento de esgotos por disposição no solo é uma atividade essencialmente de reciclagem, inclusive para a água. Todavia, a localização da coleção de cursos d'água próximos à área de tratamento, em função do tipo de utilização dessa água, pode criar restrições para o tipo de método de depuração. Em particular, o método de escoamento à superfície é o que apresenta maiores inconvenientes para a utilização da água de manancial superficial logo após a área de tratamento.

No caso dos métodos de infiltração-percolação e infiltração rápida, os maiores inconvenientes são para os mananciais subterrâneos cuja recarga esteja dentro da área de tratamento. A segurança de uma boa eficiência no tratamento e, conseqüentemente, minimização dos riscos de utilização do manancial subterrâneo próximo ao tratamento, é função da espessura da camada de solo e nível do lençol em relação à superfície (48, 60).

3.5.5.7 Considerações gerais

Uma das considerações mais importantes na implantação de sistemas de tratamento de esgotos por disposição no solo é aquela sobre questões de saúde pública. Não podemos perder de vista que, apesar de todo o processo estar interligado de maneira bastante harmônica com o meio ambiente, o esgoto a ser tratado carrega em si riscos potenciais para a saúde pública. Dentro desse enfoque, a área de tratamento deve merecer os mesmos cuidados que qualquer outro local de tratamento de esgotos, especialmente no que diz respeito a isolamento, controle da entrada de pessoas e controle de contaminação de recursos hídricos. Quanto aos funcio-

nários encarregados de operação e manutenção, deve-se tomar todo o cuidado para que as atividades dentro da área atendam aos quesitos sobre trabalho em condições potencialmente insalubres, devendo ser previstos equipamentos de proteção individual como botas e luvas.

Outra consideração: a disposição no solo deve ser encarada como componente de sistema global de tratamento de esgoto e atividade de reciclagem. Dessa forma, é perfeitamente viável a integração de unidades complexas de tratamento de esgotos com disposição no solo e atividades agrícolas, desde que arranjos desse tipo possibilitem um bom desempenho do sistema como um todo. Casos típicos de sistemas desse tipo seriam em cidades de porte grande, que já possuam tratamentos primários ou secundários, e ainda enfrentam problemas de poluição, cuja solução por alternativas convencionais seja muitas vezes inviável, tanto técnica como economicamente.

3.5.6 Taxas de aplicação e eficiência no tratamento

As taxas de aplicação usuais variam substancialmente em função do método de depuração adotado. Den-

tro de cada método, as variações estão condicionadas às características climáticas, principalmente precipitação pluviométrica, além das características do solo e grau de tratamento preliminar dos esgotos.

No tocante a turnos de rega, os períodos entre aplicações estão bastante condicionados ao regime de chuvas e capacidade de drenagem do solo. Quanto ao regime de chuvas, a alternativa é prever lagoa de armazenamento que preceda o sistema por ocasião de chuvas continuadas. Quanto à capacidade de drenagem, existem alternativas viáveis de condicionamento do solo local, tais como: cultivo de plantas cujas raízes modificam a estrutura do solo, incorporação de matéria orgânica, e mesmo obras de drenagem na região de aplicação dos esgotos.

Do relato da literatura sobre sistemas em funcionamento, foram agrupados valores típicos de taxa de aplicação e períodos entre regas, para cada método de depuração, os quais podem ser vistos na tabela 3.1 (33, 46, 48, 60).

Quanto à eficiência do tratamento para os diferentes métodos de depuração, foram levantados os valores apontados na literatura sobre sistemas em operação para os principais poluentes. Esses resultados são apresentados na tabela 3.2. (48, 60, 72).

Tabela 3.1 — Taxas usuais de aplicação de esgoto no solo e períodos de aplicação para os diferentes métodos de depuração

Método de depuração	Taxa de aplicação anual (m)	Taxa média de aplicação (mm/semana)	Período entre aplicações
infiltração-percolação	0,6 a 6,0	25 a 100	3 a 6 dias
infiltração rápida	6,0 a 120,0	100 a 2.100	14 dias de aplicação 14 dias de aeração
escoamento à superfície	3,0 a 20,0	60 a 150 (a) 150 a 400 (b)	3 dias ou mais

(a) taxa de aplicação para esgoto pradeado. (b) taxa de aplicação para efluente secundário fontes: (33, 46, 48, 60)

Tabela 3.2 — Porcentagens médias de remoção dos principais poluentes contidos nos esgotos pelos diferentes métodos de depuração

Constituinte	Infiltração-percolação	Infiltração rápida	Escoamento à superfície
DBO	90 — 99	90 — 99	55 — 80
Sólidos Suspensos	90 — 99	90 — 99	60 — 80
Nitrogênio Total	60 — 90	30 — 80	40 — 90
Fósforo Total	80 — 99	50 — 90	30 — 80
Metais Pesados	65 — 99	50 — 90	60 — 80
Compostos Orgânicos Tóxicos	99	90	60 — 80
Microrganismos	98 — 99+	98 — 99+	90 — 99+

fontes: (48, 60, 72)

3.6 Estágio atual

3.6.1 Aspectos gerais

Apesar de se ter sistemas de tratamento de esgotos por disposição no solo desde o início do século XIX, operando de forma contínua, não existe até hoje uma padronização de métodos e nomenclatura para tratamentos desse tipo. Atualmente, nos Estados Unidos, tem-se procurado desenvolver normalização para esses processos, embora ainda não se tenha uma aceitação em escala considerável.

A prática de disposição de esgotos no solo tem sido chamada tanto de "tratamento" como "aplicação no solo", e aí surge a primeira polêmica. Alguns autores apontam que "disposição no solo" é inadequado, tendo em vista que o solo é um meio de tratamento, embora para outros o termo "disposição" tenha um significado mais amplo, que atende à idéia de disposição final e reuso. De maneira geral, como forma conciliatória tem-se empregado o termo "tratamento de esgotos por disposição no solo".

Quanto aos diferentes métodos de depuração, tem-se procurado classificá-los em três grupos, a saber: baixa taxa, infiltração rápida e escoamento superficial.

Como métodos de baixa taxa, procuram-se englobar aqueles onde a depuração dá-se por infiltração-percolação e a presença de plantas tem importância relevante na remoção de poluentes. Esse processo tem recebido o nome de método por irrigação, método de infiltração-percolação, entre outros. As taxas usuais de aplicação variam na faixa de 0,6 a 6 m de esgoto por ano (33).

Métodos de infiltração rápida são aqueles aplicados em terrenos arenosos, com alta permeabilidade, em época de seca, com taxas de aplicação de até 150 m de esgoto por ano. O tratamento dá-se enquanto o esgoto percola no solo, sendo que culturas agrícolas não são importantes (33).

Métodos de escoamento superficial são aqueles utilizados em solos impermeáveis com baixa capacidade de infiltração ou em época de alta pluviosidade, quando o solo está saturado. O tratamento ocorre durante o escoamento superficial, por entre a cobertura vegetal, sendo que a mesma é parte integrante do sistema. As taxas usuais de aplicação variam de 3 a 20 m de esgoto por ano, em função do pré-tratamento. Estes processos têm sido denominados métodos de escoamento à superfície e filtração na grama, entre outros (33).

Até poucos anos atrás, sistemas de disposição no solo eram encarados simplesmente como sistema de disposição sem capacidade de efetuar tratamento nem utilidade como processo de reciclagem. Atualmente, a capacidade de depuração dos mesmos é aceita, comparável a sistemas convencionais. Todavia, ainda persistem resistências para adoção do processo como alternativa para outros tipos de tratamento.

De maneira geral, existem dois pontos de vista sobre sistemas desse tipo, os quais têm servido de argumentação para atitudes pró ou contra o processo. Na medida em que maiores discussões e pesquisas forem sendo feitas sobre os aspectos positivos e negativos desses métodos será mais fácil definir o alcance e limitações de sistemas de disposição no solo.

Como fatores positivos têm sido apontados os aspectos econômicos, possibilidade de reciclagem, forma de conservação de energia e usos de processos naturais.

Quanto aos aspectos econômicos, sistemas desse tipo têm significado uma redução sensível do custo de implantação, mesmo com necessidade maior de áreas, o que tem viabilizado tratamento de esgoto com menores recursos.

A reciclagem é outro fator de peso na adoção de sistemas desse tipo, principalmente dos recursos hídricos e nutrientes para culturas agrícolas.

Por se tratar de processos com baixo consumo de energia, sistemas desse tipo têm sido apontados como alternativa para preservação do meio ambiente com economia de energia, a qual seria aplicada de maneira mais racional em atividades atualmente caras em energia.

O fato de usar processos naturais e, principalmente, por utilizarem extensas áreas, as quais terão manejo ecológico, tem incentivado a adoção desses sistemas como alternativa para preservação de áreas verdes próximas às cidades.

Como fatores negativos têm sido apontados os efeitos negativos sobre a saúde pública, os efeitos cumulativos no solo a longo prazo, a necessidade de áreas extensas e os problemas de aceitação pública. Embora os resultados até agora tenham apontado que esses fatores negativos têm sido pouco significativos, desde que os sistemas sejam dimensionados e operados de forma condizente, pesquisas nestas áreas possibilitarão um melhor delineamento das limitações do processo.

3.6.2 Linhas de pesquisas em desenvolvimento

Sistemas de disposição no solo têm fomentado uma série de pesquisas, sendo que as linhas principais abordam os efeitos sobre a saúde pública, organismos transmissores de doenças, comportamento dos metais pesados, compostos orgânicos tóxicos, gerenciamento de nutrientes e aspectos do consorciamento agrícola.

As pesquisas sobre os efeitos para a saúde são as que têm tido alta prioridade, com ênfase para contaminação de recursos hídricos, efeitos sobre a saúde dos operadores, contaminação da produção agrícola por contato e formação de aerossóis.

Quanto aos organismos transmissores de doenças a preocupação maior tem sido com os vírus, tanto quanto com a sobrevivência e movimentação dos mesmos no solo, com eficiência na remoção. Igual preocupação tem dirigido as pesquisas sobre bactérias, com preocupação adicional sobre o efeito das mesmas no gado que utiliza as pastagens irrigadas com esgoto para alimentação (18, 21, 24, 30, 75). Quanto às parasitas, as pesquisas têm procurado estudar a forma de quebrar o ciclo vital das mesmas; no caso específico da *Taenia saginata*, os trabalhos têm conseguido resultados muito bons, através da imunização do gado contra a infestação (58, 72).

Pesquisas sobre metais pesados têm abordado a acumulação dos mesmos no solo, bem como na cadeia alimentar dos organismos ligados ao campo de disposição. Têm tido ênfase também as taxas admissíveis para as diferentes culturas. Tem sido pesquisada também a acumulação de metais pesados em áreas de disposição de lodos de unidades compactas de tratamento. Tem-se procurado relacionar concentrações de metais pesados com as atividades geradoras dos esgotos (14, 20, 32, 70, 72, 74).

A preocupação com os compostos orgânicos tóxicos tem aumentado em vista do incremento sensível na sua utilização dentro da própria cidade. As pesquisas têm mostrado uma utilização crescente desses compostos na atividade industrial, embora esgotos domésticos apresentem concentração e diversificação crescentes. De maneira geral, os trabalhos apontam sistemas de disposição no solo como bastante eficientes na remoção desses compostos (25, 72).

O gerenciamento de nutrientes tem procurado um melhor aproveitamento, principalmente de nitrogênio e fósforo, na agricultura, com estudos sobre a forma de retenção no solo, bem como movimentação e transporte (49, 9, 15, 34, 39).

Com o consorciamento de culturas agrícolas com o tratamento de esgotos tem-se procurado maximizar a produção com otimização do tratamento. Tem-se procurado acompanhar as respostas do vários tipos de cultura com a prática de disposição de esgotos (17, 23, 29, 35, 41).

Um aspecto importante a ser ressaltado é que a maior parte desses trabalhos está sendo desenvolvida em países com condições climáticas, de solo e de atividade social bastante diversas daquelas encontradas em países como o Brasil. Apesar de o tema estar despertando o interesse de pesquisadores e instituições, ainda temos poucos trabalhos nessa área, o que por si só justifica novos trabalhos sobre o assunto. Se levarmos em conta que nossas condições climáticas permitem uma atividade biológica bem mais intensa, as possibilidades de sistemas desse tipo ampliam-se e eles devem ser encarados como alternativa bastante viável para tratamento de esgotos.

4 Metodologia

4.1 Trabalhos preliminares

4.1.1 Escolha dos métodos de disposição e tratamento

Para a escolha do método de disposição a ser adotado, bem como do método de tratamento que melhor se adaptasse às condições locais, foi feito levantamento topográfico da área, com determinação do tipo de solo, bem como da provável capacidade de infiltração.

Em função de: classificação textural do solo como barrento, com possibilidade de cultivo de vegetais; do nível do lençol freático abaixo de 4 metros; da boa capacidade de infiltração do terreno (média de 70 l/m² por dia pelo ensaio da NB-41 de 1981 da ABNT); e da topografia local, com declividades máximas da ordem de 10%, adotou-se como método de disposição a irrigação por sulcos e como método de tratamento a infiltração-percolação, onde o cultivo de vegetais é parte integrante do processo (48).

4.1.2 Análise da fertilidade do solo

Para uma avaliação da variação da fertilidade do solo local, com a prática de disposição de esgotos, foi feita análise do solo na região prevista para implantação dos campos de disposição, anterior a qualquer atividade. Posteriormente, essas análises foram feitas espaçadamente ao longo do período de experimento, com coleta de amostras segundo metodologia usual na agricultura (37).

A análise do solo, feita através de metodologia para análise da fertilidade do solo, do Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (71), determina os teores de matéria orgânica, o pH do solo, as concentrações dos íons Al⁺⁺⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, além das concentrações de Potássio e Fósforo aproveitáveis. As análises laboratoriais foram feitas pelo Laboratório de Solos do Instituto de Química da Unesp — Araraquara.

4.1.3 Resíduo a ser utilizado

A idéia de se utilizar esgoto composto a partir do excremento de animais foi a que pareceu mais viável, visto não se ter esgoto doméstico disponível no local e o Crhea possuir área suficiente para que fosse feita a criação do animal escolhido.

No tocante à escolha do animal, optou-se pela criação de suínos em vista de os mesmos terem característica de animal onívoro sendo, portanto, semelhantes ao homem.

Após ensaios para determinação da mistura ótima de fezes + água, adotou-se uma diluição de 5 g de fezes úmidas por litro de água, cujos valores esperados de concentração dos componentes, quando comparados com valores médios dos componentes do esgoto sanitário, levam a acreditar que o resíduo tenha características bastante semelhantes. Essa comparação pode ser vista no quadro 4.2., no qual o "Resíduo de porco" resulta da diluição citada de 5 g de fezes úmidas por litro de água.

4.2 Campo de disposição primário

Foram previstos um campo de disposição e um campo-testemunho, com dimensões de 10 m x 20 m, sendo que a maior dimensão coincide com o sentido de maior declividade do terreno. Com a finalidade de comparação entre o crescimento dos vegetais e fertilidade do solo para o campo de

disposição de esgotos e o campo-testemunho, foi previsto o plantio de milho (*Zea mays*) em ambos, sendo que o campo-testemunho seria irrigado somente com água proveniente da represa do Lobo.

Os sulcos foram dispostos paralelamente ao lado de maior dimensão dos campos e, conseqüentemente, no sentido de maior declividade da área. O espaçamento médio entre os sulcos foi de 1,12 m, o que permitia o cultivo de milho em fileiras ao longo dos mesmos. Dessa forma, tinham-se nove sulcos ao longo de todo o campo de disposição.

Para coletar a parcela infiltrada, que consistiria no efluente ao campo de disposição, foi feita valeta na região central do campo, paralela à maior dimensão, com profundidade de 0,45 m, revestida com lona plástica e reenchida com terra retirada do local. Ao final da valeta, foi feito poço de coleta para permitir a instalação de balde plástico para receber o efluente.

Para permitir uma distribuição uniforme do esgoto pelos sulcos, foi feito elemento distribuidor com tubo de PVC rígido, com diâmetro interno de 75 mm (3"), perfurado a cada 1,12 m com orifícios com diâmetro de 8 mm.

Para início de operação (fevereiro/83) adotou-se taxa de disposição de 30 mm/semana, mas, como não estava sendo possível coletar efluente a partir de maio de 83, em meados de junho aumentou-se a taxa de disposição para 60 mm/semana, mantendo-se a mesma até o final do experimento, em dezembro/83. Para esta última taxa, as aplicações eram diárias, com todo o esgoto lançado na parte da manhã; dessa forma, a aeração do solo dava-se entre os períodos de aplicação.

As coletas do afluente e efluente ao campo de disposição foram feitas a partir de 1.º de julho de 1983 até 1.º de dezembro de 1983, quinzenalmente, e para as mesmas foram determinados a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Nitrogênio Total Kjeld-

componentes	Concentração (mg/l)	
	resíduo de porco	esgoto sanitário*
sólidos totais	539	600
sólidos fixos	118	180
sólidos voláteis	421	420
DBO ₅	405	300
DQO	956	550
N total	40	40
P total	29	8

Quadro 4.2 — Comparação das composições do resíduo de porco e esgoto sanitário (grupos)

* Valores a partir das fontes Nucci, et alii e PERA

dahl e Fósforo Total, conforme especificações do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (3).

Quanto ao milho, foi feito plantio simultâneo no campo de disposição e campo-testemunho. A primeira cultura foi plantada em 16/12/82 e colhida em fins de março/83. A segunda cultura foi plantada em 20/4/83 e colhida no início de setembro/83. A terceira cultura foi plantada em 7/9/83 e colhida em início de fevereiro de 1984. Para as duas últimas culturas foram pesadas a massa vegetal das plantas, seca ao tempo, bem como a massa dos grãos.

4.3 Campo de disposição secundário

Foram previstos um campo de disposição e um campo-testemunho, com formato retangular com 3 m de largura por 6,7 m de comprimento, o que resultou numa área individual de 20 m², sendo que a menor dimensão coincide com a maior declividade do terreno.

Tanto no campo de disposição como no campo-testemunho foram plantadas culturas de couve (*Brassica*, sp). Para o testemunho foi prevista irrigação somente com água proveniente da represa do Lobo. O espaçamento entre sulcos adotado foi de 0,75 m, o que resultou em quatro sulcos que percorriam longitudinalmente o campo. Entre os sulcos foram plantadas as couves, com densidade de plantas igual a 5 pés por metro linear, plantio feito em meados de janeiro/83.

Assim como para o campo de disposição primário, foi feita valeta revestida para coleta do efluente ao campo de disposição secundário, a qual seguiu paralela ao sentido de maior declividade do terreno.

No que diz respeito aos sulcos, os mesmos eram interligados, o que fazia com que o esgoto afluente ao campo escoasse superficialmente em ziguezague, com um único ponto de entrada.

A taxa de aplicação durante todo o experimento (1.º de fevereiro/83 até 1.º de dezembro/83) foi de 50 mm/semana. Tendo em vista que o sistema não tinha funcionamento contínuo, a aeração do solo dava-se entre os períodos de aplicação. Durante todo esse período, foi feito desbaste regularmente das folhas de couve, da maneira mais homogênea possível, sendo que no início de janeiro de 1984 foi feita pesagem da massa vegetal das plantas, secas ao tempo.

As coletas de afluente e efluente ao campo de disposição foram feitas

a partir de 1.º de março de 1983 até 1.º de dezembro de 1983, quinzenalmente, com as mesmas determinações efetuadas para o campo primário (DBOs, DQO, pH, N Total Kjeldhal e P Total).

5 Resultados

Os resultados encontrados são apresentados nos gráficos e tabelas seguintes:

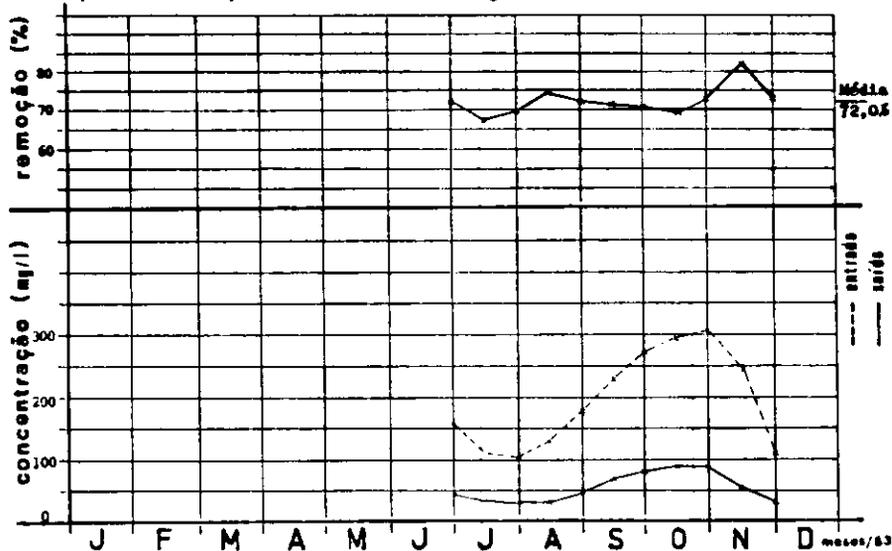


Gráfico 5.1 — Concentração de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio) no afluente e efluente ao campo primário e eficiência de remoção

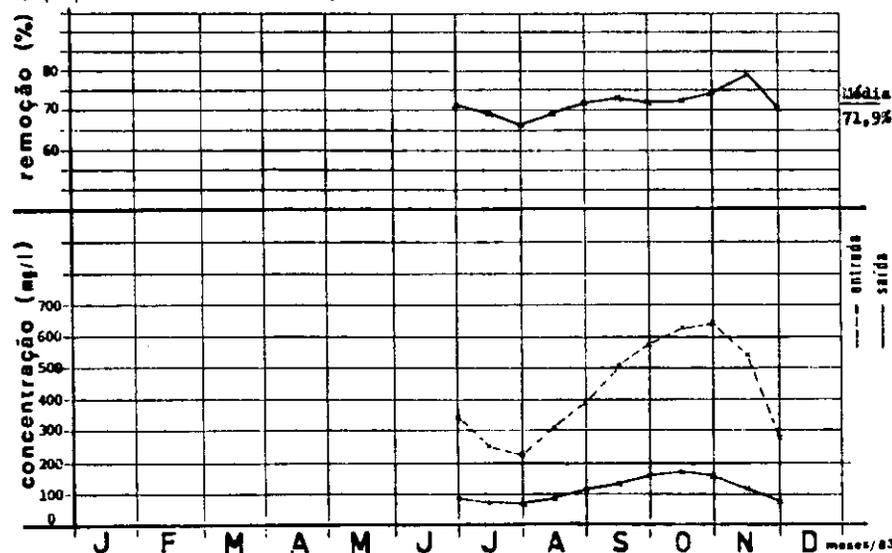


Gráfico 5.2 — Concentração de DQO (Demanda Química de Oxigênio) no afluente e efluente ao campo primário e eficiência de remoção

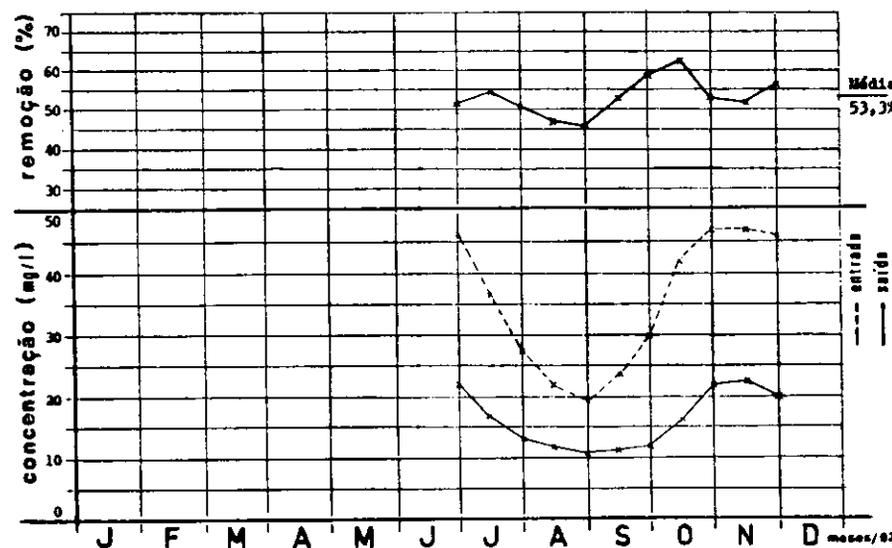


Gráfico 5.3 — Concentração de Nitrogênio Total ao afluente e efluente ao campo primário e eficiência de remoção

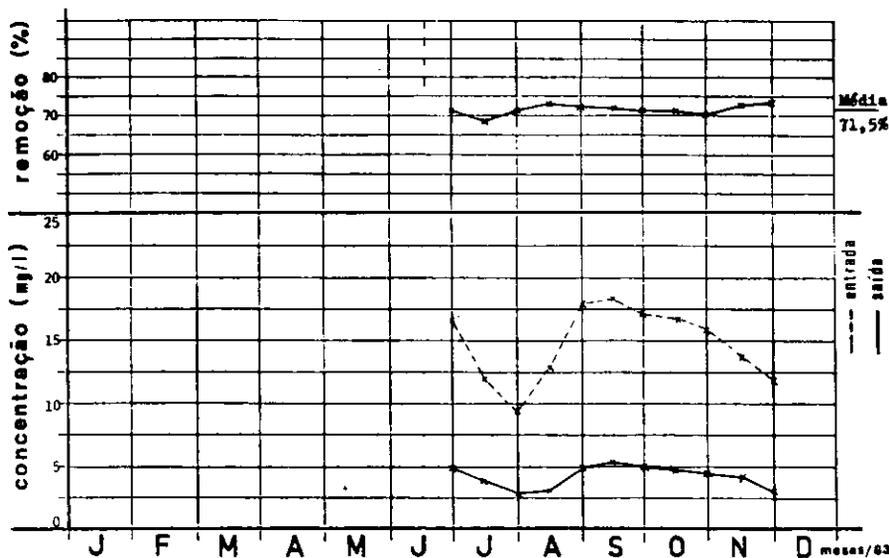


Gráfico 5.4 — Concentração de Fósforo Total no afluente e efluente ao campo primário e eficiência de remoção

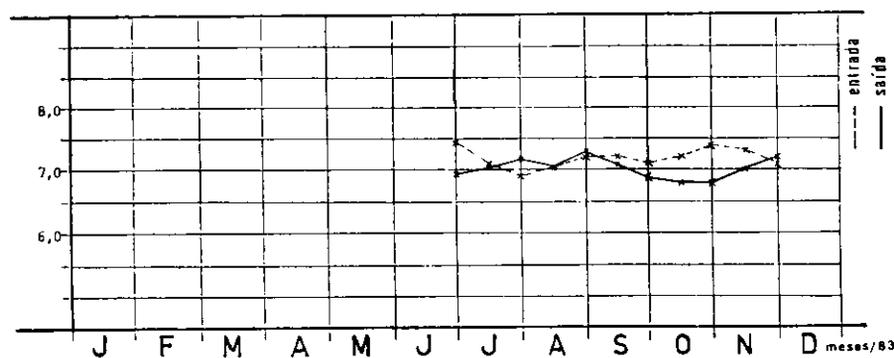


Gráfico 5.5 — pH do afluente e efluente ao campo primário

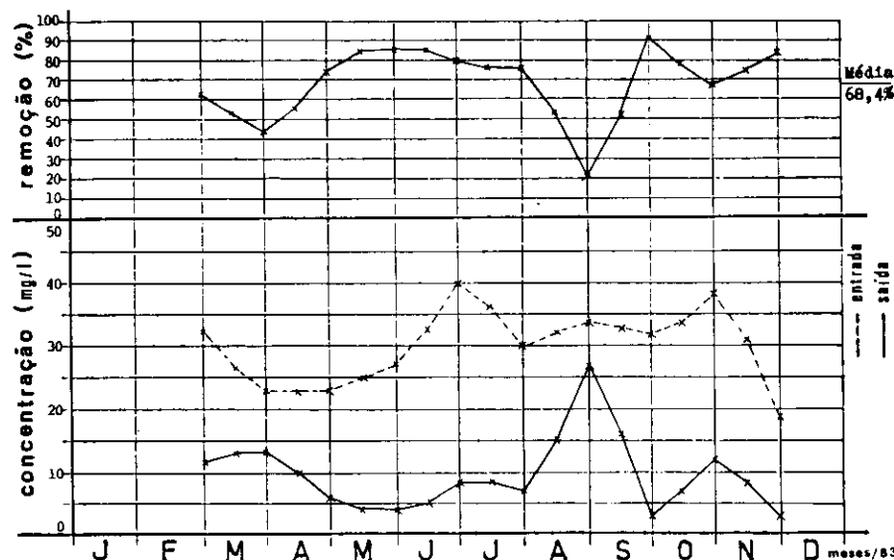


Gráfico 5.6 — Concentração de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) no afluente e efluente ao campo secundário e eficiência de remoção

6 Discussão

6.1 Campo Primário

6.1.1 Eficiência no Tratamento

Os resultados obtidos para a eficiência média de remoção de DBO (72%), DQO (71%), Nitrogênio Total

(55%) e Fósforo Total (71%), apresentados nos gráficos 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, indicam que para as taxas aplicadas o sistema pode ser considerado tecnicamente eficiente. É importante ressaltar que as eficiências de remoção apontadas foram calculadas tendo como afluente ao campo de disposição esgoto após sedimentação; dessa for-

ma, o sistema (um todo como sedimentador mais campo de disposição) teria eficiência maior. Todavia, o uso de sedimentador a montante do campo de disposição implica problema adicional de destinação do lodo. Como alternativa ao decantador, pode-se utilizar lagoa anaeróbia, com operação bem mais simples. Outra alternativa é a eliminação da unidade de sedimentação, com disposição do esgoto após tratamento preliminar de gradeamento e remoção de areia.

Em comparação com sistemas tradicionais de tratamento de esgotos, a eficiência encontrada no presente caso é equivalente a tratamento secundário no que diz respeito à remoção de carga orgânica e melhor que tratamento secundário no que diz respeito à remoção de nitrogênio e fósforo (48, 51).

A análise dos valores de pH (gráfico 5.5) antes e após o campo de disposição nos levam a acreditar que o sistema não crie impactos, em ritmo de operação predominantemente aeróbio. Dessa forma, temos um efluente final bastante próximo da naturalidade, sem variações sensíveis.

No que tange à remoção de nitrogênio e fósforo, cabem algumas considerações complementares. Para o campo primário, a remoção de nitrogênio deve ser predominantemente por nitrificação e absorção das plantas, resultante de ambiente tipicamente aeróbio. Como o nitrato assim formado é extremamente lixiviável, os vegetais têm papel muito importante na sua remoção. Isto pode ser observado, acompanhando-se o período de evolução da última cultura de milho (setembro/83 a fevereiro/84), e a variação da eficiência de remoção do nitrogênio, onde se pode observar que o aumento da eficiência corresponde ao início do crescimento das plantas.

Quanto ao fósforo, como sua absorção pelas plantas é proporcionalmente menor em relação às taxas de absorção do nitrogênio, parcela sensível da remoção dá-se por fixação dos compostos de fósforo no solo. Esta fixação, nas condições do experimento, dá-se preferencialmente nas argilas ou matéria orgânica presentes no solo. Como as análises de solo mostraram que os teores de matéria orgânica tendem a crescer ao longo da aplicação de esgotos, pode-se inferir que a remoção de fósforo tenderá a aumentar com o incremento da matéria orgânica no solo. Outra consideração é que a literatura aponta uma fixação do fósforo nos primeiros 50 cm de solo (37); como a coleta do efluente era feita ao nível de 30 cm abaixo da superfície, acreditamos que se podem ter remoções maiores.

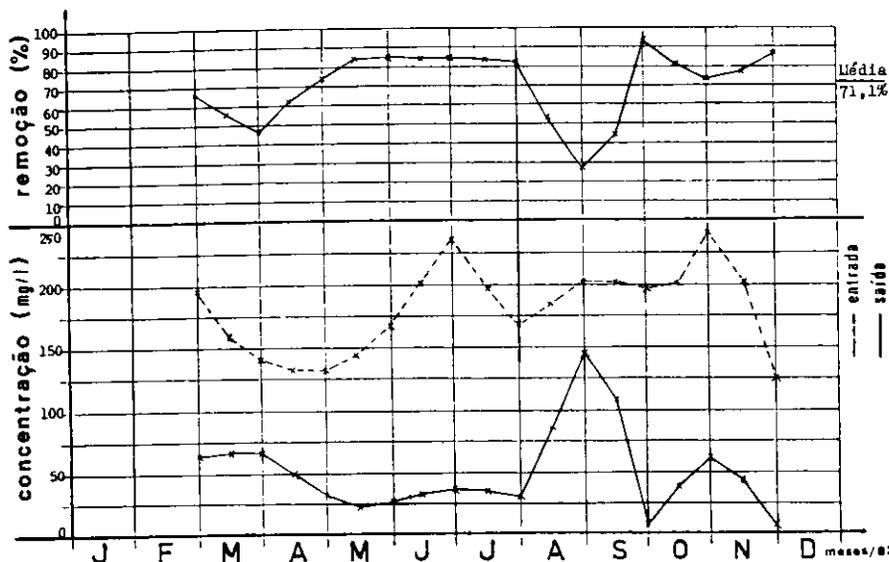


Gráfico 5.7 — Concentração da DQO (Demanda Química de Oxigênio) no afluente e efluente ao campo secundário e eficiência de remoção

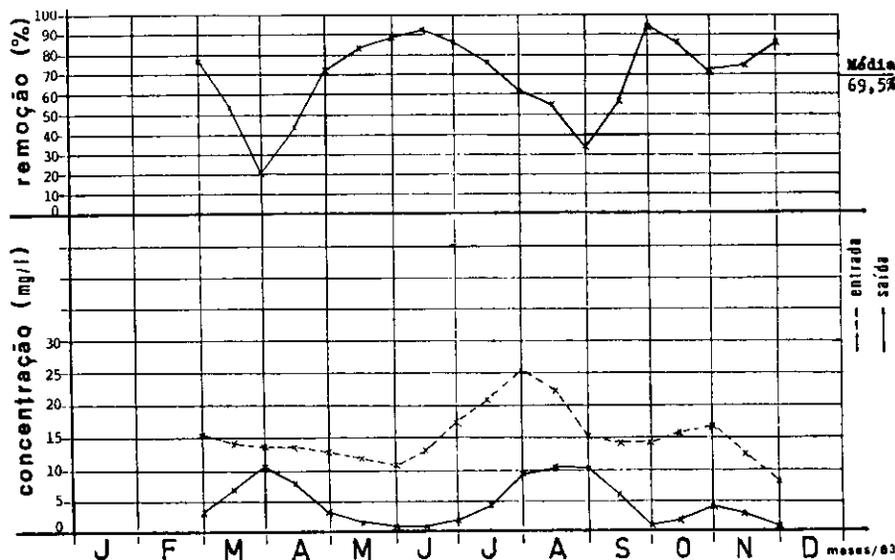


Gráfico 5.8 — Concentração de Nitrogênio Total no afluente e efluente ao campo secundário e eficiência de remoção

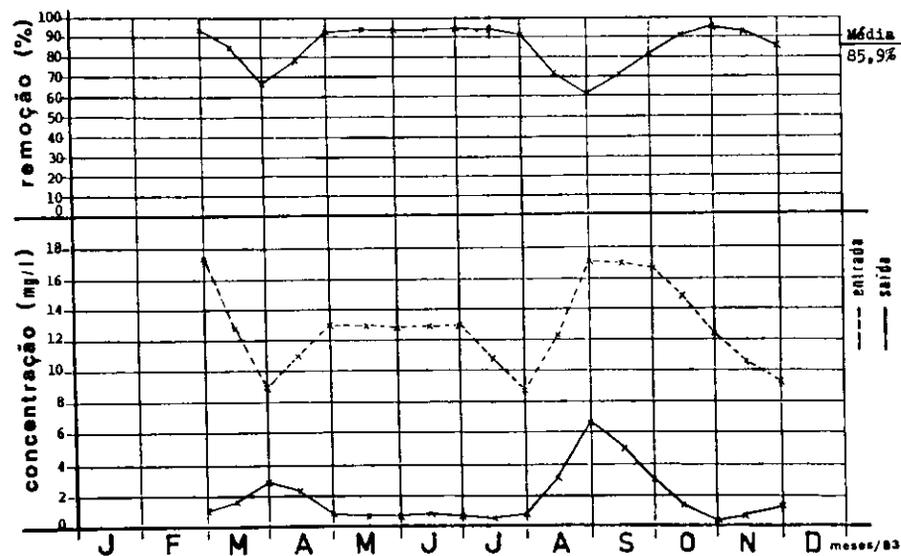


Gráfico 5.9 — Concentração de Fósforo Total no afluente e efluente ao campo secundário e eficiência de remoção

De maneira geral, as eficiências de remoção encontradas, quando comparadas com as apontadas na literatura (48,

60, 72), indicam que o método está mais próximo de infiltração rápida do que infiltração-percolação. Se ponde-

ramos que as taxas de infiltração encontradas para o solo foram bastante altas (70 l/m² x dia) e que o espaçamento entre plantas era considerável (1,12 m), percebe-se que, para termos uma influência decisiva dos vegetais no processo, é necessário que sua densidade de ocupação no campo de disposição seja mais alta; caso contrário, apesar da influência benéfica das plantas no sistema, parcela significativa da remoção dos nutrientes fica por conta da interação esgoto-solo.

Uma comparação das eficiências encontradas com a apontada na literatura (48, 60, 72) é feita na tabela 6.1.

6.1.2 Variação da Fertilidade do Solo

As análises da fertilidade do solo nos campos primário e testemunho, feitas ao longo do experimento e apresentadas na tabela 5.1, indicam que um período de um ano é insuficiente para uma avaliação consistente da variação da fertilidade em campos de disposição de esgotos. Todavia, o fato de termos uma maior produção de biomassa no campo de disposição do que no campo-testemunho (vide item 6.1.3 Produção de Biomassa), sem que tenhamos um empobrecimento sensível do solo no campo de disposição, indica que a curto prazo a disposição de esgotos domésticos tem efeito benéfico para o solo e a cultura do experimento.

6.1.3 Produção de Biomassa

Apesar de o solo original ser considerado de boa qualidade (37), a cultura de milho que recebeu irrigação com esgoto apresentou sensível aumento da produtividade em relação àquela irrigada somente com água (cerca de 48% para a produção de biomassa menos os grãos e 60% para a produção de grãos). Isto indica que a disposição de esgotos teve um reflexo bastante positivo na produção agrícola, viabilizando o aproveitamento econômico do campo de disposição.

6.2 Campo Secundário

6.2.1 Eficiência no Tratamento

No caso do campo secundário as características do esgoto afluente eram semelhantes às daquele após tratamento secundário por lagoa de estabilização. Assim, a carga orgânica era baixa, com as concentrações de nitrogênio e fósforo elevadas. As eficiências médias de remoção alcançadas para DBO₅ (70%), DQO (73%), Nitrogênio Total (66%) e Fósforo Total (85%) indicam que o sistema se comporta como tratamento terciário (48, 51). (Gráficos 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9).

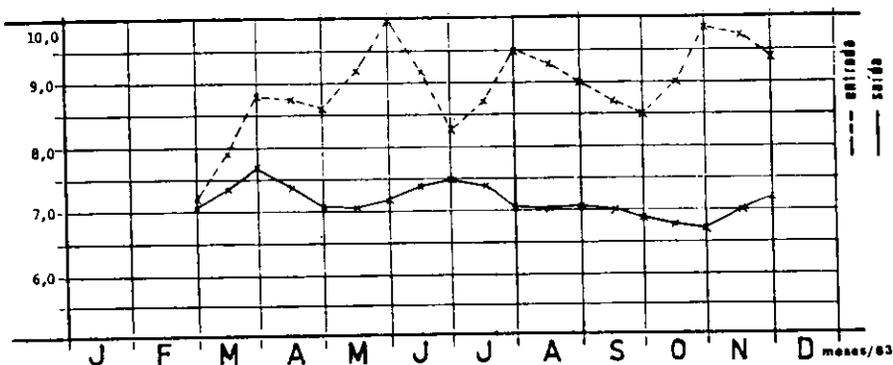


Gráfico 5.10 — pH do afluente e efluente ao campo secundário

O comportamento do pH para o afluente e efluente (gráfico 5.10) ao campo de disposição merece comentários. O pH bastante elevado do afluente é devido ao fato de as amostras serem tomadas durante o dia, num período em que a atividade de fotossíntese das algas era bastante intensa. Essa atividade fotossintética consumia bastante CO_2 , deslocando a reação de formação do ácido carbônico no sentido inverso (7). Os valores de pH do efluente, bastante próximos da neutralidade, indicam que o sistema tem capacidade de

Tabela 5.1 — Análise de fertilidade do solo para o campo primário (disposição e testemunho)

Parâmetro	Campo de Disposição					Campo Testemunho				
	15/09/82	18/03/83	04/07/83	09/08/83	07/12/83	15/09/82	18/03/83	04/07/83	09/08/83	07/12/83
Matéria Orgânica	3,5	2,8	4,3	3,4	3,8	3,5	3,0	4,2	3,6	3,5
pH	6,2	5,7	5,4	5,6	5,7	6,2	5,9	5,5	5,8	5,8
Al ⁺⁺⁺	0	tr	0,04	tr	tr	0	tr	tr	tr	tr
Ca ⁺⁺⁺	3,5	2,2	2,6	2,4	2,5	3,5	2,6	3,2	3,8	3,7
Mg ⁺⁺	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	2,3	1,4	1,8	1,6
K	156	77	49	75	83	156	124	158	225	173
P	2,3	1	1	2	2	2,3	2	tr	2	1,5

T.F.S.A. = Terra Fresca Seca ao Ar (71)

tr = traço

Tabela 5.2 — Análise de fertilidade do solo para o campo secundário (disposição e testemunho)

Parâmetro	Campo de Disposição					Campo Testemunho				
	15/09/82	18/03/83	04/07/83	09/08/83	07/12/83	15/09/82	18/03/83	04/07/83	09/08/83	07/12/83
Matéria Orgânica	3,8	2,6	3,6	3,3	3,4	3,8	2,8	3,3	3,3	3,3
pH	6,3	5,7	5,5	5,4	5,5	6,3	5,9	5,5	5,2	5,4
Al ⁺⁺⁺	0	tr	tr	tr	tr	0	tr	tr	tr	tr
Ca ⁺⁺⁺	4,4	1,8	2,0	2,6	2,9	4,4	1,9	2,3	2,8	2,6
Mg ⁺⁺	1,4	1,4	1,2	1,1	1,3	1,4	1,8	1,3	1,4	1,4
K	36	58	79	158	152	36	44	55	98	85
P	1,5	1	tr	4	2,4	1,5	1	tr	1	tr

T.F.S.A. = Terra Fresca Seca ao Ar (71)

tr = traço

Tabela 5.3 — Comparação entre a produção de vegetais no Campo Primário de disposição e Campo-Testemunho (milho)

	Biomassa Produzida (a) (kg)	Grãos (b) (kg)	Rendimento da Biomassa (c) (kg/ha)	Rendimento dos grãos (d) (kg/ha)
Campo de Disposição	114	88	5.700	4.400
Campo-Testemunho	77	55	3.850	2.750

- a) Peso das plantas secas ao tempo sem espigas
 b) Peso dos grãos secos ao tempo
 c) Relação entre peso das plantas secas ao tempo sem espigas pela área de cultivo (200 m²)
 d) Relação entre peso dos grãos secos ao tempo pela área de cultivo (200 m²)

Tabela 5.4 — Comparação entre a produção de vegetais no Campo Secundário de disposição e Campo-Testemunho (couve)

	Biomassa Produzida (a) (kg)	Rendimento da Biomassa (b) (kg/ha)
Campo de Disposição	9,6	4.800
Campo-Testemunho	4,1	2.050

- a) Peso das plantas secas ao tempo
 b) Relação entre peso das plantas secas ao tempo pela área de cultivo (20 m²)

Tabela 6.1 — Comparação entre eficiência encontrada no experimento e valores de literatura (Campo Primário)

Constituinte	Eficiências Citadas (48, 60, 72)		
	Infiltração-Percolação	Infiltração Rápida	Experimento
DBOs	90 — 99%	90 — 99%	72%
Nitrogênio Total	60 — 90%	30 — 80%	55%
Fósforo Total	80 — 99%	50 — 90%	71%

Tabela 6.2 — Comparação entre eficiências encontradas no experimento e valores de literatura (Campo Secundário)

Constituinte	Eficiências Citadas (48, 60, 72)		
	Infiltração-Percolação	Infiltração Rápida	Experimento
DBOs	90 — 99%	90 — 99%	70%
Nitrogênio Total	60 — 90%	30 — 80%	66%
Fósforo Total	80 — 99%	50 — 90%	85%

absorver variações de pH originadas por compostos orgânicos fracos.

As eficiências médias de remoção para DBOs, Nitrogênio Total e Fósforo Total estão dentro de faixa de valores apontados pela literatura (48, 60, 72), como pode ser visto na tabela 6.2.

Apesar de as eficiências médias serem compatíveis, os gráficos 5.6 a 5.9 indicam que alguns pontos de amostragem destoam da tendência geral. Um fato associado a esses pontos

é que em todos eles, nos dias imediatamente anteriores à disposição e coleta das amostras, o terreno foi carpidado, com rearranjo dos canais. Como o tamanho do campo de disposição secundário era pequeno (20 m²) e o espaçamento entre as fileiras de couve relativamente alto (75 cm), a operação de carpa manual era feita num único dia e com profundidade razoável. Dessa forma, associa-se à raspagem da camada superficial do solo à diminuição na eficiência do tratamento.

6.2.2 Variação da Fertilidade do Solo

Para este caso valem as mesmas considerações feitas no caso do campo primário, quais sejam, que o período de um ano é insuficiente para conclusões sobre variação da fertilidade do solo (tabela 5.2). É importante ressaltar que também neste caso uma maior produção de biomassa no campo de disposição em relação ao campo-testemunho (vide item 6.2.3 Produção de Biomassa) sem um empobrecimento sensível do solo no campo de disposição indica que a disposição de esgoto permite melhoria na produção agrícola sem depauperamento do solo a curto prazo.

6.2.3 Produção de Biomassa

Apesar das boas características de fertilidade do solo original (37), a cultura de couve que recebeu irrigação com esgoto apresentou maior produtividade de biomassa em relação àquela irrigada somente com água (cerca de 134% a mais). Esses valores indicam que a disposição no solo de esgoto após tratamento secundário apresenta efeitos benéficos para a cultura de couve.

7 Conclusões e Recomendações

— Para as taxas aplicadas, as eficiências de tratamento dos sistemas aproximam-se bastante daquelas apontadas na literatura;

— No dimensionamento de sistemas de disposição no solo, é importante uma melhor definição das densidades de vegetais nos campos de irrigação;

— A operação dos sistemas é fator importante para uma boa eficiência dos mesmos;

— Melhores estudos devem ser feitos para uma avaliação da eficiência com cargas e taxas diferentes;

— Deve-se estudar melhor o fenômeno de remoção com diferentes profundidades de coleta de amostras do efluente;

— É importante o estudo de diferentes espécies vegetais que se adaptam a sistemas desse tipo;

— É importante o estudo sobre remoção de microrganismos patogênicos, bem como possível contaminação dos vegetais, o que não foi feito no presente trabalho;

— Deve-se procurar estabelecer relação ampla entre diferentes tipos de solo, plantas e climas e os métodos mais adequados de tratamento de esgotos por disposição no solo.

Apêndice C

Tabelas dos Resultados de Análise para os Campos Primário e Secundário

Tabela C.1 — Análises do Afluente e Efluente ao Campo Primário

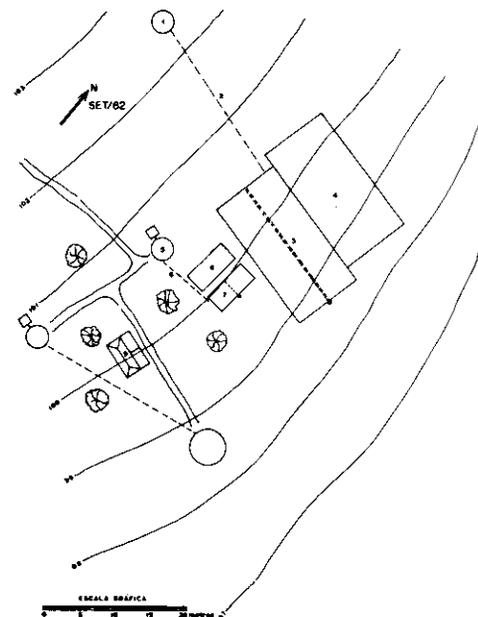
Data da amostra	DBO (a)			DQO (a)			N Total (a)			P Total (a)			pH	
	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S
01/07	159	44	72,3	337	96	71,5	46,2	22,3	51,7	17,1	5,0	70,8	7,4	6,9
15/07	114	37	67,5	262	79	69,8	37,1	16,8	54,9	12,3	3,8	69,1	7,1	7,1
01/08	103	31	69,9	227	76	66,5	27,5	13,4	51,3	9,2	2,7	70,7	6,9	7,2
15/08	131	33	74,8	304	92	69,7	22,1	11,8	46,6	13,1	3,5	73,3	7,0	7,3
01/09	178	49	72,5	392	111	71,7	19,4	10,6	45,4	17,9	5,0	72,1	7,2	7,3
15/09	232	67	71,1	503	135	73,2	23,8	11,1	53,4	18,2	5,1	72,0	7,2	7,1
01/10	271	81	70,1	578	163	71,8	30,0	12,3	59,0	17,3	5,0	71,1	7,1	6,9
15/10	295	89	69,8	629	175	72,2	41,9	15,7	62,5	16,8	4,9	70,8	7,2	6,8
01/11	307	82	73,3	643	162	74,8	46,9	21,8	53,5	15,7	4,7	70,1	7,4	6,8
15/11	246	55	77,6	544	113	79,2	46,7	22,4	52,0	13,9	3,8	72,7	7,3	7,0
01/12	112	30	73,2	276	82	70,3	45,6	20,0	56,1	12,0	3,1	74,2	7,1	7,2

(a): Concentração em mg/litro; E: Entrada; S: Saída; %: Eficiência de Remoção

Tabela C.2 — Análises do Afluente e Efluente ao Campo Secundário

Data da amostra	DBO (a)			DQO (a)			N Total (a)			P Total (a)			pH	
	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S
01/03	32	12	62,5	197	67	66,0	15,1	3,3	78,1	17,6	1,1	93,8	7,2	7,1
15/03	27	13	51,9	160	69	56,9	14,7	6,8	53,7	12,8	1,8	85,9	7,9	7,4
01/04	23	13	43,5	141	69	47,7	14,1	11,2	20,6	8,9	2,8	68,5	8,8	7,7
15/04	23	10	56,5	132	50	62,1	14,0	7,9	43,6	11,1	2,3	79,3	8,7	7,4
01/05	23	6	73,9	130	33	74,6	13,2	3,7	72,0	13,1	0,9	93,1	8,6	7,1
15/05	25	4	84,0	145	24	83,4	12,3	2,0	83,7	12,9	0,8	93,8	9,2	7,1
01/06	27	4	85,2	168	26	84,5	11,5	1,2	89,6	12,6	0,8	93,7	10,0	7,2
15/06	33	5	84,8	201	32	84,1	13,9	1,2	91,4	12,8	0,9	93,0	9,2	7,4
01/07	40	8	80,0	234	36	84,6	17,3	2,1	87,9	12,9	0,7	94,6	8,3	7,5
15/07	36	8	77,8	199	33	83,4	21,2	4,9	76,9	10,7	0,6	94,4	8,7	7,4
01/08	30	7	76,7	168	29	82,7	25,4	9,8	61,4	8,7	0,8	90,8	9,5	7,1
15/08	32	15	53,1	185	86	53,5	22,3	10,3	53,8	12,2	3,5	71,3	9,3	7,0
01/09	34	27	20,6	204	145	28,9	15,4	10,1	34,4	17,2	6,6	61,6	9,0	7,1
15/09	33	16	51,5	204	113	44,6	14,4	6,1	57,6	17,1	5,0	70,8	8,7	7,0
01/10	32	3	90,6	196	13	93,4	14,5	0,8	94,5	16,6	3,1	81,3	8,5	6,9
15/10	34	7	79,4	203	38	81,3	15,5	2,0	87,1	15,0	1,4	90,7	9,0	6,8
01/11	38	12	68,4	242	64	73,6	16,8	4,7	72,0	12,3	0,5	95,9	9,8	6,7
15/11	31	8	74,2	204	44	78,4	12,7	3,2	74,8	10,6	0,8	92,5	9,7	7,0
01/12	19	3	84,2	125	16	87,2	8,1	1,2	87,7	9,4	1,3	86,2	9,4	7,2

(a): Concentração em mg/litro; E: Entrada; S: Saída; %: Eficiência de Remoção



LEGENDA

- 1 SEDIMENTADOR PRIMÁRIO
- 2 EMISSÁRIO
- 3 CAMPO DE DISPOSIÇÃO PRIMÁRIO COM DRENAGEM
- 4 CAMPO TESTEMUNHO
- 5 LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO COM PRÉ-SEDIMENTAÇÃO
- 6 EMISSÁRIO
- 7 CAMPO DE DISPOSIÇÃO SECUNDÁRIO COM DRENAGEM
- 8 CAMPO TESTEMUNHO
- 9 CHIQUEIRO

PLANTA GERAL

8 Referências bibliográficas

- 1 — ALEXANDER, Martin — *Introduction to Soil Microbiology*. 2. ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1977. 467 p.
- 2 — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT — *Construção e Instalação de Fossas Sêpticas e Disposição dos Efluentes Finais*. NB-41/81. Rio de Janeiro, 1981. p. 37.
- 3 — A.W.W.A., Apha, WPCF — *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 13^ª ed., N. Y., 1971.
- 4 — BEEK, J. et alii — "Phosphates In Soils Treated with sewage Water: I. General Information on Sewage Farm. Soil, and Treatment Results". *Jour. Environ. Qual.*, 6 (1): 4-7, 1977.
- 5 — BOND, R. D. — "Changes in a Duple Soil Caused by Drip Irrigation with Saline Effluent". *Prog. Wat.*

- Tech., Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5): 147-150, oct., 1979.
- 6 — BRADY, Nile C. — **Natureza e Propriedades dos Solos**. Figueiredo F.º Antonio B. N., trad., Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. p. 647.
- 7 — BRANCO, Samuel M. — **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. 2.º ed. São Paulo, Cetesb, 1978. p. 620.
- 8 — BRANCO, Samuel M. — **Poluição: A Morte de Nossos Rios**. 2.º ed., São Paulo, Asceteb-Associação dos Funcionários da Cetesb, 1983, p. 155.
- 9 — BRAR, S.S. et alii — "Some Factors Affecting Denitrification in Soils Irrigated with Wastewater". **Jour. Water Poll. Control Fed.**, 50 (4):709-717, abril, 1978.
- 10 — CARLILE, B. L. e PHILLIPS, J. A. — **Evaluation of Soil Systems for Land Disposal of Industrial and Municipal Effluents**. Raleigh, North Carolina, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, 1976. 63 p.
- 11 — CARLSON, R. R. et alii — "Rapid Infiltration Treatment of Primary and Secondary Effluents." **Jour. Water Poll. Control Fed.**, 54 (3): 270 - 280, march, 1982.
- 12 — CHIANG, Cheng H. — "Regional Planning for Land Application of Wastewater". **Jour. Water Poll. Control Fed.** 49 (12):2366-2370, dec., 1977.
- 13 — CILLIÉ, Gabriel G. — "Sludge Treatment Utilization and Disposal". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5):87 — 102, oct., 1979.
- 14 — DAVID, D. J. e WILLIAMS, C. H. — "Effects of Cultivation on the Availability of Metals Accumulated in Agricultural and Sewage — Treated Soils". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5):257 - 264, oct., 1979.
- 15 — DIGIANO, Francis A. et alii — "Nitrogen Transformations in Land Treatment". **J. Environ. Eng. Division**, 103 (EE6): 1.075-1.087, dec., 1977.
- 16 — DUCHÉ, Jacques — **La Biologie des Solos**. Paris, Presses Universitaires de France, 1950. 128 p. Que sais — Je 399.
- 17 — EDGAR, James G. e Stewart, Hugh T. L. — "Wastewater Disposal and Reclamation Using Eucalyptus and Other Trees". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5):163 — 173, oct., 1979.
- 18 — ELLIOT, L. F. e ELLIS, J. R. — "Bacterial and Viral Pathogens Associated with Land Application of Organic Wastes". **J. Environ. Qual.**, 6(3):251, 1977.
- 19 — EPSTEIN, Eliot e CHANEY, Rufus L. — "Land Disposal of Toxic Substances and Water-Related Problems". **Jour. Water Poll. Control Fed.**, 50 (8): 2.037-2.042, aug., 1978.
- 20 — EVANS, K. J. et alii — "Heavy Plant Accumulation in Soils Irrigated by Sewage and Effect in the Plant — Animal System". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 339-352, oct., 1979.
- 21 — FATTAL, Badri — "The Prevalence of Viral Hepatitis and Other Enteric Disease in Communities Utilizing Wastewater in Agriculture". **Wat. Sci. Tech.**, 15:43-58, 1983.
- 22 — FEIGIN, A. et alii — "The Effectiveness of Some Crops in Removing Minerals from Soils Irrigated with Sewage Effluent". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5): 151-162, oct., 1979.
- 23 — FEIGIN, A. et alii — "Utilization Efficiency of Nitrogen from Sewage Effluent and Fertilizer Applied to Corn Plants Growing in a Clay Soil". **J. Environ. Qual.**, 10 (2) : 284-287, 1981.
- 24 — FILIP, Z. et alii — "Distribution of Enteric Viruses and Microorganisms in Long-Term Sewage — Treated Soil". **Wat. Sci. Tech.**, 15:129 — 135, 1983.
- 25 — GARRIGAN, George A. — "Land Application Guidelines for Sludges Contaminated with Toxic Elements". **Jour. Water Poll. Control Fed.**, 49 (12) : 2.380-2.389, dec., 1977.
- 26 — GIST, Noel P. e FAVA, Sylvia F. — **La Sociedad Urbana**. Barcelona, Ediciones Omega S. A. 1968. 780 p.
- 27 — GRAU, Arno — "Elimination Mechanisms by Soil Filtration and Application as a Hillside Seepage System in the Area of a Reservoir for Potable Water". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 459-472, oct., 1979.
- 28 — GRIER, Harold E. et alii — "Salt Removal Efficiencies on Land Disposal of Swine Waste". **J. Environ. Eng. Division**, 103 (EE4) : 551-556, aug., 1977.
- 29 — GRUNNET, Kai e MOLLER, Jens — "Changes in Biological Parameters on Grass, Hay, and in Silage Following Irrigation with Domestic Sewage". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 139-146, oct., 1979.
- 30 — GRUNNET, Kai e OLESEN, Svend E. — "Disappearance of Microorganisms by Infiltration and Percolation of Sewage". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 473-481, oct., 1979.
- 31 — HAITH, Douglas A. et alii — "Preliminary Design of Wastewater Land Application Systems". **Jour. Water Poll. Control Fed.**, 49 (12) : 2.371-2.379, dec. 1977.
- 32 — HARDING, Ian H. e HEALY, Thomas W. — "Cadmium Uptake on Organic and Inorganic Constituents of Soil". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 265-273, oct., 1979.
- 33 — HARLIN, Jr., Curtis C. — "Land Treatment Methods In Perspective". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 1-14, Oct., 1979.
- 34 — HOLFORD, Ian C. R. e PATRICK, Jr. W. H. — "Effects of Redox Potential and pH on Phosphate Removal from Wastewater During Land Application". **Prog. Wat. Tech.** Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 215-225, oct., 1979.
- 35 — JEFFERY, J. J. e UREN, N. C. — "The Effect of the Application of Piggery Effluent to Soils and Pasture". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 275-282, oct., 1979.
- 36 — JENKINS, T. F. e MARTEL, C. J. — "Pilot Scale Study of Overland Flow Land Treatment In Cold Climates". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 207-214, oct., 1979.
- 37 — JORGE, José Antonio — **Solo: Manejo e Adubação**. São Paulo, Edições Melhoramentos, Editora da Universidade de São Paulo, 1969, p. 225.
- 38 — KEMP, Michael S. et alii — "Overland Flow and Slow Rate Systems to Upgrade Wastewater Lagoon Effluent". **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 227-256, oct., 1979.
- 39 — KHALEEL, R. et alii — "Changes In Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review". **J. Environ. Qual.**, 10(2): 133-141, 1981.

- 40 — KHALID, Rashid A. et alii — "Phosphorus Removal Processes from Overland Flow Treatment of Simulated Wastewater". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 54 (1):61-69, Jan., 1982.
- 41 — KIPNIS, Tal et alii — "Ecological and Agricultural Aspects of Nitrogen Balance in Perennial Pasture Irrigated with Municipal Effluents". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 127-138, oct., 1979.
- 42 — LANCE, J. C. e RICE, R. C. — "Effects of Vegetation on Denitrification and Phosphate Movement During Rapid Infiltration of Soil Columns". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 50 (9) : 2.183-2.188, sept. 1978.
- 43 — LEE, C. R. e PETERS, R. E. — "Overland Flow Treatment of a Municipal Lagoon Effluent for Reduction of Nitrogen, Phosphorus, Heavy Metals and Coliforms". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 175-183, oct., 1979.
- 44 — LEPSCH, Igo F. — *Solos - Formação e Conservação*. 3.ª ed. São Paulo, Edições Melhoramentos, 1980. 160 p. Prisma — Brasil, 31.
- 45 — McPHERSON, James B. — "Land Treatment of Wastewater at Werribee Past, Present and Future". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 15-32, oct., 1979.
- 46 — METCALF and EDDY — *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 2.ª ed. New York, McGraw-Hill, 1979. 920 p.
- 47 — NAKANO, Y. et alii — "Water Movement In a Land Treatment System of Wastewater by Overland Flow". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 185-206, oct., 1979.
- 48 — NUCCI, Nelson L. R. et alii — *Tratamento de Esgotos Municipais por Disposição no Solo e sua Aplicabilidade no Estado de São Paulo*. São Paulo, Cepam-Fundação Prefeito Faria Lima, 1978. p. 70.
- 49 — OVERCASH, M. R. — "Implication of Overland Flow for Municipal Waste Management". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 50 (10) : 2.337-2.347, oct., 1978.
- 50 — PERA, Armando F. — "Líquidos a Serem Esgotados. Classificação. Composição. Efluentes Domésticos e Águas Residuárias Industriais. Recebimento de Efluentes Industriais na Rede Pública". In: PONTES, Luiz A. de L. ed. *Sistemas de Esgotos Sanitários*. São Paulo, Cetesb 1977. p. 15-28.
- 51 — PESSÔA, Constantino A. e JORDÃO, Eduardo P. — *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 2.ª ed. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1982. p. 536.
- 52 — QUIN, Bert F. — "Surface Irrigation with Sewage Effluent in New Zealand — A Case Study". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 103-126, oct., 1979.
- 53 — REICHARDT, Klaus — *A água na Produção Agrícola*. São Paulo, McGraw — Hill do Brasil, 1978. p. 119.
- 54 — REYNOLDS, James H. — "Land Application". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 50 (6) : 1.166-1.170, June, 1978.
- 55 — REYNOLDS, James H. — "Land Application of Wastewater". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 51 (6) : 1.276-1.281 June, 1979.
- 56 — REYNOLDS, James H. et alii — "The Long Term Effects of Land Application of Wastewater". *Prog. Wat. Tech.* Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 283-300, oct., 1979.
- 57 — REYNOLDS, James H. — "Land Application of Wastewater". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 54 (6) : 673-675, June, 1982.
- 58 — RICKARD, Michael D. — "Vaccination of Calves Against Infection with the Beef Measles Parasite *Taenia saginata*". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 451-458, oct., 1979.
- 59 — ROSEN, George "A Evolução da Medicina Social". In: NUNES, Everaldo D., ed. *Medicina Social — Aspectos Históricos e Teóricos*. São Paulo, Global Ed., 1983. p. 25-82.
- 60 — SANKS, Robert L. e ASANO, Takashi, ed. — *Land Treatment and Disposal of Municipal and Industrial Wastewater*. Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Science, 1976. 310 p.
- 61 — SCOTT, Terence M. e FULTON, Patrick M. — "Removal of Pollutants In the Overland Flow (Grass Filtration) System". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Brã-Bretanha, 11 (4/5) : 301-313, oct., 1979.
- 62 — SEINE-NORMANDIE — *L'Epanchage des Eaux Residuales sur Terrain Agricole*. Paris, avril, 1978. 64 p.
- 63 — SILVA, Paulo R. da — *Lagoas de Estabilização para Tratamento de Resíduos de Suínos*. Salvador, VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 1973. p. 23.
- 64 — STEVENS, Leonard A. — *CLEAN WATER. Nature's Way to Stop Pollution*. New York, E. P. Dutton & Co., Inc, 1974. 289 p.
- 65 — TERÁN, Fernando de — *Ciudad y Urbanizacion en el Mundo Actual*. Madrid, Editorial Blume, 1969. 330 p.
- 66 — TERRY, Richard E. e TATE, Robert L. — "Municipal Wastewater Reutilization on Cultivated Soil". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 53 (1) : 85-88, Jan., 1981.
- 67 — TIBAU, Arthur O. — *Matéria Orgânica e Fertilidade do Solo*. São Paulo, Nobel, 1978, p. 172.
- 68 — TOFFLEMIRE, T. J. — "Land Application of Wastewater". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 49 (12) : 1.087-1.094, June, 1977.
- 69 — UIGA, Ants e SLETTEN, Robert — "An Overview of Land Treatment from Case Studies of Existing Systems". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 50 (2) : 277-285, feb., 1978.
- 70 — UNDERWOOD, Eric J. — "Environmental Sources of Heavy Metals and their Toxicity to Man and Animals". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 33-45, oct., 1979.
- 71 — UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO". Instituto de Química — *Normas para Análise de Solos*. Araraquara, — 1981.
- 72 — UNIVERSITY OF MELBOURNE. Department of Civil Engineering — *Land Treatment Processes*. Melbourne, 1978.
- 73 — VAISMAN, I. et alii — "Reducing Ground Water Pollution from Municipal Wastewater Irrigation of Rhodes Grass Grown on Sand Dunes". *J. Environ. Qual.*, 10 (4) : 434-439, 1981.
- 74 — VRIES, M. P. C. de — "Investigations on the Sludge as a Fertilizer in a Market Garden Area North of Adelaide, South Australia". *Prog. Wat. Tech.*, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5) : 445-450, oct., 1979.
- 75 — WOLMAN, Abel — "Public Health Aspects of Land Utilization of Wastewater Effluents and Sludge". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 49 (11) : 2.211-2.218, nov., 1977.