

Aplicação do Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos em Solos Agrícolas

Eng.º HILTON FELÍCIO DOS SANTOS (*)

RESUMO

O lodo de estações de tratamento de esgotos é mais rico em fertilizantes quando empregado no solo em estado fresco, sem digestão prévia, porquanto perde uma grande quantidade de nutrientes após sua digestão, especialmente nitrogênio.

Esta prática não é contudo recomendada devido aos riscos sanitários que apresenta.

O lodo digerido entretanto, tem sido amplamente utilizado no estran-

geiro para condicionamento dos solos agrícolas, tornando-o apropriado para o desenvolvimento de micro e macro organismos úteis a agricultura, melhorando a fertilidade física dos solos e, de uma forma limitada, sua fertilidade química.

O autor refere-se a experiência estrangeira no assunto, com base na consulta a 36 referências bibliográficas e nas anotações de sua visita às instalações de compostagem japonesas, que teve oportunidade de conhecer em 1977 no Norte e no Sul do Japão.

São feitas considerações sobre o efeito dos lodos no solo, seu condicionamento prévio e que tipos tem sido mais aplicados como complemento ou não de fertilizantes; sobre os tipos de solos agrícolas adequados ao recebimento de lodos; sobre as culturas reportadas no estrangei-

ro como adequadas, sobre os macro e micro nutrientes necessários às plantas; sobre os efeitos dos metais pesados e sobre os riscos associados à aplicação do lodo no terreno.

São descritos três processos, selecionados pelo autor como potencialmente aplicáveis no Brasil, com base na: (1) maior segurança sanitária reportada (sem prejuízo das ressalvas, sempre consignadas), (2) no maior vulto do seu empreendimento (o que refletiria maior confiabilidade das autoridades locais responsáveis) e (3) no maior prazo de experimentação (o que torna alguns processos abrangentes de instalações de menor porte).

Foram assim descritos os processos de: (a) compostagem aeróbia por fileiras de lodo digeridos revolvidas mecanicamente; (b) aplicação direta no terreno de lodo digerido líquido; (c) compostagem de lodos

(*) Grupo Especial de Assessoria Técnica - Diretoria de Planejamento. Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

QUADRO I

VOLUME ESTADUAL DE ESGOTOS TRATADOS PELAS MAIORES EMPRESAS DE SANEAMENTO DO BRASIL

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|--------------|--|--|--|-------------------------|--------------------|
| Empresa | Patrimônio Líquido Cr\$ 10 ⁶ | Volume de Água Produzido 1000 m ³ /dia | Volume de Esgotos Tratados 1000 m ³ /dia | (4) — x 100 (3) % | Data da Informação |
| SABESP (S) | 7.822 | 3.148 | 498 | 16 | Set. 77 |
| CEDAE (RJ) | 2.478 | 3.048 | 520 | 17 | Set. 77 |
| CORSAN (RS) | 721 | 789 | 33 | 4 | Set. 77 |
| CAESB (DF) | 658 | 400 | 73 | 18 | Dez. 77 |
| COMPESA (PE) | 435 | 472 | 85 | 18 | Out. 77 |
| SANEPAR (PR) | 432 | 536 | 11 | 2 | Out. 77 |
| EMBASA (BA) | 297 | 433 | — | — | Jun. 77 |
| COPASA (MG) | 255 | 754 | — | — | Ago. 77 |
| CAGEPA (PA) | ... | 189 | 21 | 11 | Set. 77 |
| AGEPISA (PI) | ... | 90 | 2 | 2 | Set. 77 |
| DESO (SE) | ... | 60 | 1 | 2 | Ago. 77 |

Fontes: Coluna 1 e 2 REVISITA DAE n.º 114 (1977)
 Colunas 3, 4 e 6 CBES/ABES (1978)
 ... dado não disponível
 Nota: Salvador possui emissário submarino

brutos pelo processo da pilha aerada de Beltsville, que prescinde dos digestores na depuradora.

É feito um paralelo dos custos de compostagem no estrangeiro com seu similar mais próximo em São Paulo, qual seja, a compostagem de lixo doméstico para fins agrícolas nas Usinas de Leopoldina e São Mateus, revelando-se tratarem-se de custos da mesma ordem de grandeza.

Propõe-se por fim a realização de pesquisas aplicadas em São Paulo para determinação de parâmetros nacionais dos lodos, processos e solos.

1. INTRODUÇÃO DO PROBLEMA

O lodo constitui o principal subproduto do tratamento das águas residuárias. A disposição sanitária ou a utilização deste subproduto, é um dos mais importantes problemas associados ao projeto e ao gerenciamento das estações de recuperação da qualidade das águas (ERQS).

A quantidade de lodos produzidos nas ERQS, tende a aumentar, na medida em que mais e mais estações de tratamento a nível secundário se tornam necessárias em todo o mundo, para preservação dos já comprometidos cursos d'água receptores.

Em termos relativos, os volumes de lodo produzidos, conforme o grau de depuração, guardam a seguinte relação (ao lado).

Com efeito, a quantidade de sólidos retidos no processo, mede indiretamente a extensão e a eficiência da depuração, cujo aumento é cada

| GRAU DE TRATAMENTO | LODOS BRUTOS | LODOS DIGERIDOS |
|--------------------|--------------|-----------------|
| Primário | 100% | 100% |
| Lodos Ativados | 166% | 277% |

vez mais requerido para preservação dos cursos d'água que receberão o efluente tratado.

Nas estações de tratamento de esgotos, a soma dos custos das obras e dos custos operacionais das unidades de processamento do lodo, equivale nos Estados Unidos (1), de 25 a 50 por cento dos custos totais do investimento e da operação da totalidade da instalação. Pode-se, pois, imaginar a importância do problema econômico.

No Brasil, é enorme o déficit no tratamento dos esgotos, como se depreende das informações contidas no último Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária, editado pela ABES, e compiladas no Quadro 1.

Apesar dos avanços do PLANASA no campo de saneamento básico nacional, temos muito ainda a desenvolver. Em 1975, 1.093 municípios se integraram ao PLANASA, em 1976, mais 368. Recentemente tivemos o 2.000.º e espera-se que, em 1980, 3.160 estejam integrados.

O déficit acusado na coluna (5) do Quadro retro, tenderá a diminuir na próxima década, face a progressiva canalização dos recursos do SFS/BNH, para implantação ou melhoria dos serviços de esgotos, como decorrência da ênfase aplicada nos pri-

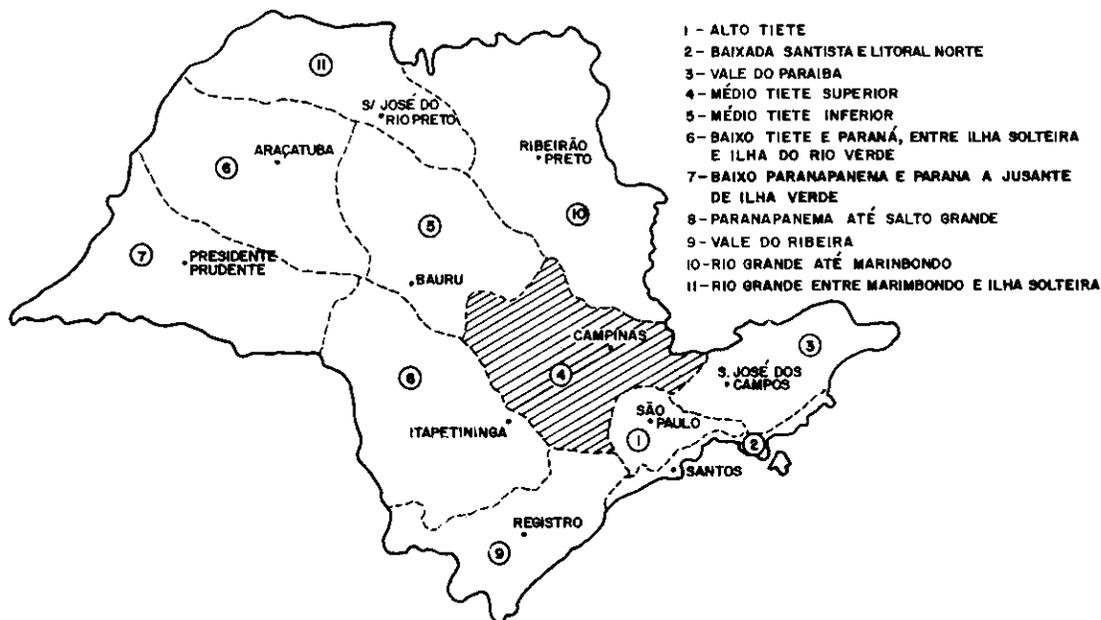
meiros 10 anos do PLANASA, aos sistemas públicos de abastecimento de água.

Com efeito, considerando-se somente as três grandes estações de tratamento ora em construção na Área Metropolitana de São Paulo, verificaríamos que a média estadual de esgotos tratados da SABESP terá condições de passar em 1983, dos atuais 498.000m³/dia, para 1.750.800 m³/dia, correspondendo o acréscimo, à capacidade total de 14,5 m³/s das 3 ERQS, cujo início de operação é previsto para aquele ano.

Por outro lado, a SABESP concluiu recentemente, o Plano Diretor de Saneamento Básico da Bacia do Médio Tietê Superior, cuja representatividade em termos de situação geográfica e ocupação populacional nos seus principais conglomerados urbanos, pode ser visualizada na Ilustração n.º 1.

Desta forma, quantidades consideráveis de lodos serão retidas nas dezenas de ERQS que deverão ser implantadas na próxima década, não só nas áreas mencionadas, como nos demais estados brasileiros. Parece-nos, pois, oportuna a apresentação desta matéria, que se preocupa com uma das formas de disposição final dos resíduos retidos no tratamento.

DIVISÃO GEOGRÁFICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM REGIÕES DE PLANEJAMENTO



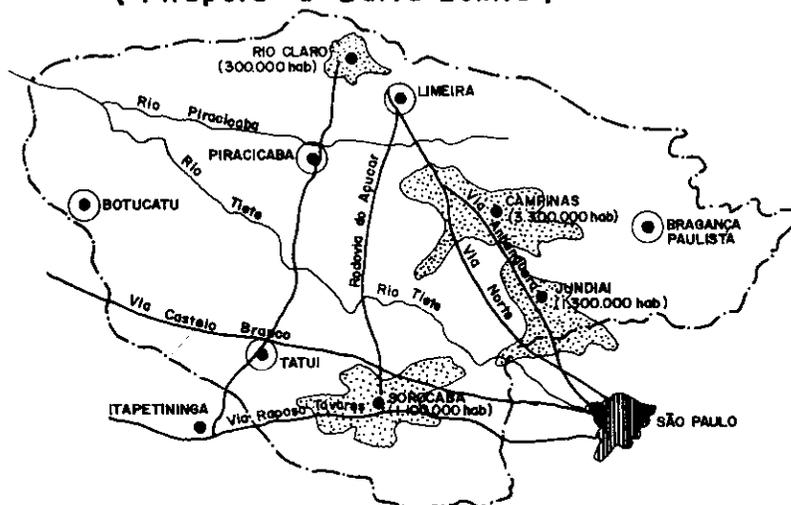
- 1 - ALTO TIETE
- 2 - BAIXADA SANTISTA E LITORAL NORTE
- 3 - VALE DO PARAIBA
- 4 - MÉDIO TIETE SUPERIOR
- 5 - MÉDIO TIETE INFERIOR
- 6 - BAIXO TIETE E PARANÁ, ENTRE ILHA SOLTEIRA E ILHA DO RIO VERDE
- 7 - BAIXO PARANAPANEMA E PARANÁ A JUSANTE DE ILHA VERDE
- 8 - PARANAPANEMA ATÉ SALTO GRANDE
- 9 - VALE DO RIBEIRA
- 10 - RIO GRANDE ATÉ MARINBONDO
- 11 - RIO GRANDE ENTRE MARINBONDO E ILHA SOLTEIRA

Taxas de crescimento estimadas por bacia hidrográfica para a década dos 70

| Bacia nº | Taxa de crescimento anual (%) | |
|----------|-------------------------------|-------------|
| | Estudo Sabesp/FIPE | Estudo CESP |
| 1 | 5.1 | 4.4 |
| 2 | 5.1 | 4.7 |
| 3 | 5.2 | 4.9 |
| 4 | 5.5 | 4.6 |
| 5 | 4.0 | 2.6 |
| 6 | 3.7 | 2.6 |
| 7 | 3.5 | 3.0 |
| 8 | 4.6 | 3.7 |
| 9 | 6.8 | 6.2 |
| 10 | 4.4 | 4.1 |
| 11 | 4.9 | 3.4 |

FONTE: - PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO E ESTUDO DE VIABILIDADE GLOBAL DA SABESP - RESUMO DO ESTUDO APROVADO PELA SABESP EM 05/09/77 E PELO SFS/BNH

REGIÃO 4 - BACIA DO MÉDIO TIETE SUPERIOR (Pirapora a Barra Bonita)



- - SÉDES DAS SUB-REGIÕES ADMINISTRATIVAS SOB INFLUÊNCIA DE CAMPINAS E SOROCABA
- - - LIMITE DA BACIA DO MÉDIO TIETE SUPERIOR
- ◐ - HIPÓTESE DE OCUPAÇÃO URBANA PARA O ANO 2.005
- - IDEM CONSIDERANDO UMA DENSIDADE MÉDIA DE 60 hab/ha
- VIAS DE ACESSO PRINCIPAIS

FONTE: - PLANO DIRETOR DE SANEAMENTO BÁSICO DA BACIA DO MÉDIO TIETE SUPERIOR (C.N.E.C.)

ILUSTRAÇÃO Nº 1

2. ABORDAGEM GERAL DA PRÁTICA DE DISPOSIÇÃO DE LODO NO TERRENO

Na medida em que as áreas anteriormente cultiváveis são ocupadas pela expansão urbana ou industrial, a disposição do lodo no terreno, para fins agrícolas ou não, torna-se cada vez mais problemática e merecedora de estudos.

Este trabalho, objetiva trazer subsídios para um estudo mais aprofundado da utilização do lodo como condicionante de solos agrícolas, sob cuidados indispensáveis de pesquisa, monitoragem e cotejo com outras alternativas, sempre necessárias caso por caso.

Compulsando a vasta bibliografia disponível sobre o assunto, a principal dificuldade encontrada pelo autor, foi a da seleção de processos confiáveis e adaptáveis à situação brasileira, francamente incipiente quanto a esta prática.

Para tanto, optamos por ajuizar a experiência de outros países, segundo os seguintes critérios:

- maior segurança sanitária do processo, sem prejuízo das restrições ainda prevalentes e consignadas neste trabalho;
- maior volume processado, o que, a nosso ver, refletiria maior confiabilidade das autoridades responsáveis nos resultados da operação;
- maior prazo de experimentação e observação dos resultados, o que torna algumas aplicações reportadas, aplicáveis a instalações de menor porte.

2.1. ESTADOS UNIDOS

Nos Estados Unidos, o interesse nas pesquisas sobre a disposição dos lodos das ERQS no terreno, sofreu considerável impulso nos últimos anos, principalmente devido aos seguintes fatores (2, 3, 5):

- ações legislativas proibindo ou restringindo a poluição da água e do ar:
- "Water Pollution Control Act Amendments of 1972". Requer que alternativas de disposição do lodo no solo sejam estudadas, como condição para liberação de empréstimos;
- "Marine Protection, Research and Sanctuaries Act of 1972".
- "Air Quality Act of 1967".

• Aumento nos custos da incineração dos lodos e necessidade de utilização de recursos combustíveis não renováveis, utilizados na incineração, para outros fins.

Com efeito (4), para tortas com teor de sólidos de 20 a 35%, estima-se como necessário para a combustão, respectivamente, 2.165 e 151 litros **adicionais** de combustível por

tonelada incinerada, já descontado o poder calorífico dos sólidos voláteis (10500 BTU/lb ou 5.841 kg cal/kg).

• Crescente interesse na recirculação dos despejos e progressiva tomada de consciência da população da necessidade de preservação do meio ambiente.

• Avanço na tecnologia da compostagem para uso municipal.

• Valor econômico dos lodos como condicionantes de solos agrícolas em suplementação e não em competição com os fertilizantes.

Foi reportado (4), que a tendência para disposição do lodo no terreno, tende a se manter nos Estados Unidos na percentagem (peso) de 40%, enquanto que sua utilização para fins agrícolas, tende a aumentar de 20% (1972), para 25% (1985).

2.2. JAPÃO

No Japão (6), atualmente, 76% do volume anual do lodo tratado é disposto no terreno, 10% dos quais, condicionando solos agrícolas.

De um total de 140 estações de tratamento de esgotos no país, 39 tratam os lodos para utilização na agricultura: 2 após os leitos de secagem; 3 após a desidratação do lodo bruto; 10 após digestão anaeróbia e secagem em leitos e 24 após digestão anaeróbia e desidratação mecânica.

Atua no Japão, desde 1968, um comitê de engenheiros sanitaristas assistidos por especialistas em agricultura, piscicultura, engenheiros mecânicos e metalúrgicos, exclusivamente para pesquisar e normalizar práticas de processamento e disposição final do lodo das ERQS. O Comitê foi formado pela Associação Japonesa de Engenheiros Civis.

2.3. INGLATERRA

Na Inglaterra (7), a utilização do lodo em solos agrícolas é limitada a poucos exemplos isolados, onde autoridades locais ou companhias particulares comercializam o lodo seco compostado com lixo de cozinha.

Como exemplo significativo mais recente (21) pode ser citada a aplicação de lodo digerido líquido, uma ou duas vezes por ano, em 3.000 acres (1.214 ha) de uma fazenda particular, numa operação conjunta e bem sucedida do município de West Hertfordshire com o proprietário das terras. A ERQ de West Hertfordshire tem um equivalente populacional de 920.000 habitantes; durante o ano de 1975, cerca de 380.000 metros cúbicos de lodo digerido líquido (2 a 3% de sólidos), foram aplicados à taxa de 10.000 gal/acre (94 m³/ha), durante o verão e durante o inverno. A vazão média diária de esgotos tratados na ERQ é de 1,1 m³/s.

3. EFEITOS DOS LODOS NO SOLO, CONDICIONAMENTO PRÉVIO DOS LODOS E TIPOS APLICÁVEIS NOS SOLOS AGRÍCOLAS.

3.1. EFEITOS DOS LODOS NO SOLO (5)

A matéria orgânica do lodo bem digerido consiste principalmente de humus ou de constituintes húmicos. Estas substâncias se decompõem muito lentamente, propiciando condições favoráveis para o crescimento de organismos desejáveis no solo agrícola. Possuem também a propriedade de reter os nutrientes oriundos de fertilizantes químicos, mesmo após chuvas moderadas, liberando-os lentamente — junto com os nutrientes que já possuem e que foram originários do lodo — segundo a demanda das raízes das plantas.

O lodo bem digerido traz em sua massa uma proporção muito grande de partículas aglomerantes, que tendem a formar compostos de estrutura em forma de anéis com ions metálicos (chelating ability) que, por sua vez, aglomeram partículas finas do solo, minerais e sais, favorecendo a penetração das raízes e a abertura de sulcos na terra.

Muitas vezes é subestimado o aumento da fertilidade física dos solos através da aplicação dos lodos (5). Os lodos digeridos aumentam mais a fertilidade física do campo do que a sua fertilidade química, principalmente devido aos seguintes fatores:

- capacidade de reter a umidade;
- formação de camada protetora que reduz ou elimina a erosão pelo vento e pela chuva;
- melhoria das condições de abertura de sulcos no terreno;
- melhoria da estrutura do solo quanto às condições de aeração pelo aumento do volume de vazios;
- redução das perdas de nutrientes, pela maior dificuldade no escoamento superficial;
- condições favoráveis para a proliferação de micro e macro organismos desejáveis na agricultura, como as minhocas, por exemplo.

Por outro lado, existem uma série de **precauções** que devem ser tomadas e **riscos** associados ao uso do lodo em solos agrícolas, que, por uma questão de seqüência de exposição, serão abordados mais adiante.

3.2. CONDICIONAMENTO PRÉVIO E TIPOS DE LODO QUE PODEM SER APLICADOS NA AGRICULTURA (7):

3.2.1. Lodo bruto primário

O lodo primário **não** é recomendado como fertilizante devido as seguintes razões:

- maior quantidade de microorganismos patogênicos do que outros tipos de lodo;
- traz acidez permanente ao solo ao se decompor;
- se for proveniente de despejos industriais envenena o solo e a cultura;
- possui alto teor de graxas, muito maior do que o dos lodos digeridos ou ativados, o que é outra contra-indicação;
- não umidifica o solo e pode, na realidade, interferir com o crescimento da plantação.

3.2.2. Lodo digerido líquido

Na referência citada (7), que data de 1971, informa-se apenas que se trata de uma aplicação não usual tanto nos Estados Unidos como na Inglaterra. Entretanto, atualmente, já existe processo comercializado para este fim no primeiro país, com um caso de exportação (16) detetado para o segundo. Trata-se com efeito de um item específico do presente trabalho.

3.2.3 Lodo digerido desidratado

O lodo nestas condições praticamente não tem odor. Sua aparência é boa e não é objetável como cama vegetal. Quando seco ao ar, pode ser armazenado sem inconvenientes, à exceção da perda de parte do nitrogênio durante o período de armazenagem. Esta medida, entretanto, propicia um fator de segurança adicional, sob o prisma da saúde pública. Seu teor de graxa é bem pequeno.

3.2.4. Lodo digerido seco pelo calor ou ao ar

Trata-se de método pouco usual face ao seu custo, excessivamente alto para os benefícios que este tipo de lodo proporciona. Entretanto é normalmente seguro quanto à ausência de organismos patogênicos e pode ser misturado com fertilizante químico atuando como condicionador do solo.

3.2.5. Lodo ativado digerido, seco pelo calor

Trata-se sem dúvida do melhor tipo de lodo de esgotos para ser usado como fertilizantes (5, 7) quer quando aplicado sozinho, quer quando misturado com outros adubos naturais ou artificiais. Possui as vantagens de volume reduzido, fácil aplicação no solo e pouco odor ofensivo.

Não é objetável como cama vegetal para jardins e possui bom teor de nitrogênio, acreditando-se ser livre de bactérias patogênicas e de sementes de ervas daninhas. Seu teor de graxas é baixo.

Deve entretanto ser conservado seco e coberto até sua utilização.

3.2.6. Compostagem (5, 23, 24)

A compostagem é a decomposição biológica da matéria orgânica por organismos aeróbicos termofílicos ou por organismos anaeróbicos, mesofílicos.

O processo de compostagem tem sido aplicado a materiais não fluídos. Lixo municipal urbano, resíduos de agricultura e esterco de currais são usualmente viáveis de passarem pelo processo de compostagem; tal compostagem difere das de tortas de lodo desidratado, porquanto no primeiro caso, procura-se usualmente aumentar o teor de umidade da biomassa, enquanto que no segundo, a preocupação consiste em diminuí-lo.

Os tipos de compostagem que interessam ao presente trabalho são aeróbios, sendo esta condição assegurada:

- na pilha estática por sucção intermitente de ar;
- nas fileiras por revolvimento mecânico;
- na compostagem em unidades compactas por revolvimento mecânico e/ou por aeração forçada.

As tortas de lodo empregadas são desidratadas ($\approx 20\%$ de sólidos) e podem ser de lodo bruto (pilha estática) ou digerido (fileiras).

Os sub-produtos da decomposição aeróbia são dióxido de carbono, água e calor e as temperaturas atingidas no processo superam 60°C destruindo ovos de moscas e larvas, sementes de ervas daninhas e organismos patogênicos.

3.2.7. Síntese:

O lodo de esgotos é útil como fertilizante se tiver sido preparado e se for aplicado de forma correta, mas seu valor como fertilizante varia conforme o tipo de lodo. A aplicação de lodo bruto é formalmente contra-indicada, salvo se passar por processo de compostagem apropriado, o que é especificamente descrito em item posterior deste trabalho. De todos os tipos de lodo, o que possui maior valor como fertilizante é o lodo ativado digerido e desidratado termicamente: é uma fonte valiosa de nitrogênio e é de uso seguro para praticamente todas as plantações. O método todavia não nos parece aplicável de imediato nas ERQS brasileiras dado ao alto custo do equipamento e da operação das instalações de desidratação térmica na ERQ (7).

No Japão, o processo de secagem térmica dos lodos tem sido desaconselhado, por quatro motivos principais:

- consumo de combustível;
- incrustações difíceis de sanar nos trocadores de calor;
- odor ofensivo nas imediações da ERQ;
- altos teores de DBO e de NH_3 no sobrenadante.

Pelas razões apontadas, o processo não é examinado mais detidamente nesta oportunidade.

Depreendemos ser mais interessante, inicialmente, o exame das seguintes aplicações de lodos de ERQS para a agricultura brasileira:

- lodos brutos desidratados e compostados;
- lodos digeridos na forma líquida;
- lodos digeridos desidratados e compostados.

Dentre as formas que serão examinadas neste trabalho, a primeira supracitada é especialmente atraente, por dispensar o processo de digestão, na estação de recuperação.

4. TIPOS DE SOLOS AGRÍCOLAS ADEQUADOS AO RECEBIMENTO DE LODOS

4.1. PROPRIEDADES GERAIS DOS SOLOS (5):

O constituinte mineral dos solos é derivado das rochas decompostas, transformadas pelo tempo e pelas forças naturais em matéria particulada fina. As partículas inorgânicas são areias, siltes e argilas em ordem decrescente de tamanho. As areias e os siltes tem forma granular, enquanto que as partículas de argila são plati-formes e tão pequenas que as pressões de superfície se tornam bastante importantes.

As partículas de areia e silte são usualmente separadas e discretas; já as partículas platiformes de argila podem ser encontradas separadas ou aglomeradas formando torrões.

A forma granular das partículas do solo favorece a aeração e a percolação da água, evita a colmatação dos vazios e torna o solo mais produtivo; o solo natural é uma combinação em proporções diversas de areia, silte e argila.

É na camada superior do solo que se processam intensas atividades biológicas que tornam esta camada superficial rica em matéria orgânica. Sua espessura é em torno de 0,40-0,60 m. Abaixo desta camada encontra-se o subsolo, usualmente cada vez menos rico em atividade biológica e nutrientes na medida em que sua profundidade aumenta.

Os quatro constituintes principais do solo — matéria mineral, matéria orgânica, água e ar — formam o ecossistema em permanente mutação que fornece as substâncias nutritivas para o crescimento das plantas e dos micro-organismos.

Neste meio de cultura, as raízes das plantas que morrem transformam-se em matéria nutritiva para bactérias, fungos e outros saprófitos, cuja atividade vital decompõe a matéria orgânica em nutrientes básicos para reiniciar o ciclo, uma vez que alimentam o crescimento de novas plantas.

Quando a plantação é removida do campo pelo agricultor, normalmente há a remoção indesejável dos nutrientes que serviam para alimentar nova cultura, donde a necessidade de fertilização química ou orgânica do solo a partir de fontes externas ao mesmo (5). Paralelamente, deve-se, reconstituir a estrutura física da camada superficial, periodicamente prejudicada quanto a permeabilidade, capacidade de retenção de água e capacidade de ser aerada, pela ação de fenômenos naturais como o vento, a chuva e a própria irrigação artificial, que, embora necessária, estimula a erosão da superfície (8).

4.2. TIPOS DE SOLOS ADEQUADOS PARA APLICAÇÃO DE LODO

Os solos preferidos para aplicação de lodo possuem usualmente as seguintes características:

4.2.1. Profundidade (9)

Trata-se da camada superficial, da ordem de 50 cm de espessura, onde se processam intensas atividades biológicas.

4.2.2. Altas capacidades de infiltração e percolação (9)

Os ensaios de infiltração requerem a simulação de chuva por um sistema de aspersão ou a inundação do terreno, procedendo-se à medida de infiltração por lisímetros; a maior ou menor capacidade da água percolar pelos interstícios do solo é determinada por ensaios de percolação minuciosamente descritos na referência (10) deste trabalho.

4.2.3. Textura suficientemente fina para retenção da água e dos nutrientes necessários às plantas (9).

São particularmente adequados (11) os solos de textura média ou fina (argila ou argila siltosa) com menos de 10% de matéria orgânica.

A aplicação do lodo digerido ao solo aumenta a produtividade dos solos de textura média pelo aumento da quantidade de água que fica disponível para as raízes, e também dos de textura fina, pela melhoria da estrutura do solo, o que aumenta sua porosidade e facilita a infiltração da

água e o arejamento da camada superficial (12).

4.2.4. Boa drenabilidade e boas condições de arejamento (9)

O terreno que se destina a receber lodo líquido deve ser drenado naturalmente ou mediante canalizações sub-superficiais (11). Solos com declividades superiores a 9% não são adequados para recebimento de lodo líquido, devido ao risco de contaminação dos cursos d'água próximos, que, por sua vez, devem distar de mais de 60 metros, para terrenos com declividades entre 0 e 3%, e de mais de 180 metros para declividades entre 6 e 9% (13).

4.2.5. ph neutro ou alcalino (9)

O ph do solo deve ser superior a 6,5, devendo-se proceder a calagem do terreno, se necessário for, para manutenção da alcalinidade desejada (11).

4.2.6. Capacidade de troca de cations (11, 14, 15):

Os ensaios do solo devem incluir uma avaliação da capacidade de troca de cations do solo, pelo qual é quantificada a tendência do solo em questão, de reter elementos tóxicos (11).

Normalmente, os solos das regiões áridas apresentam o cálcio e o magnésio como principais cations, e o sódio, com percentagens abaixo de 5%, em termos de cations trocáveis (14).

O aumento da percentagem de sódio impede a agregação da terra, endurece o solo e aumenta sua impermeabilidade (14), devido a tendência que o sódio apresenta de substituir os ions de cálcio e magnésio nas partículas do solo (15).

A determinação da taxa de adsorção do sódio constitui medida de monitoragem indispensável ao controle das mutações no solo e é definida por:

$$TAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})} / 2}$$

onde as concentrações dos ions são dadas em equivalentes por milhãomiligramas/litro divididos pelo peso atômico e pela valência (14).

Os resultados podem ser interpretados de acordo com a classificação seguinte (14, 15):

| Valor da TAS | Problema causado pelo Sódio |
|--------------|-----------------------------|
| 0 — 10 | pequeno |
| 10 — 18 | médio |
| 18 — 26 | grande |
| 26 | muito grande |

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E AS DE APLICAÇÃO DE LODO NO TERRENO

As técnicas e fatores que regem a aplicação de águas residuárias no solo, como método complementar de tratamento ou como fertilizante, possuem diferenças relevantes com relação àquelas que se referem a aplicação do lodo do tratamento destas águas nos terrenos.

A recapitulação breve de conceitos conhecidos ajudará a esclarecer estas diferenças (21).

5.1. LODO

O lodo é o resíduo sólido do tratamento dos esgotos. É proveniente do tratamento primário (onde os sólidos se separam do líquido por gravidade), do tratamento secundário (onde os sólidos são separados após a ação biológica do tratamento) e do tratamento terciário ou avançado.

Destes processos, resulta uma lama líquida com um teor de sólidos da ordem de 2 a 5%, de conteúdo predominantemente orgânico. Os lodos provenientes de tratamentos terciários e de alguns tipos de tratamento biológico possuem frequentemente resíduos dos produtos químicos auxiliares do tratamento. Tais lodos são normalmente submetidos à digestão anaeróbia (fermentação biológica na ausência de ar) ou à digestão aeróbia, com o fim de estabilizar sua degradação e promover a inativação parcial de seus germes patogênicos.

A aplicação do lodo líquido no terreno é uma das formas mais simples de realizar sua disposição final. De uma forma geral, o lodo líquido é mais valioso como fertilizante porque os nutrientes solúveis são parcialmente perdidos durante sua desidratação e estabilização. Pode ser aplicado por jatos lançados de caminhões tanque, por injeção sub-superficial, por aspersão, por inundação do terreno, etc. Seu transporte no estado líquido entretanto pode ser bastante dispendioso.

O lodo pode também ser parcialmente desidratado por filtração a vácuo, por secagem em leitos de areia, por filtros prensa ou por outros meios, após o que, é distribuído uniformemente na superfície do solo. Este lodo desidratado possui menor valor como fertilizante do que o lodo líquido, comparando-se volume com volume, mas por outro lado, condiciona melhor o solo agrícola e tem um menor custo de transporte.

Quimicamente o lodo possui nutrientes e constituintes potencialmen-

te indesejáveis. Geralmente uma ou duas aplicações a baixa taxa no terreno, são suficientes para suprir todo o nitrogênio e fósforo requeridos pelas culturas (seu teor de potássio é baixo) sem apresentar riscos potenciais de contaminação das águas do subsolo.

5.2. ÁGUAS RESIDUÁRIAS

As águas residuárias, por outro lado, são muito menos concentradas em termos de poluentes, do que o lodo que provém do seu tratamento. Pode ser aplicada muitas vezes durante o ano no terreno. Antes de sua aplicação é normalmente sujeita a alguma forma de tratamento primário, muitas vezes tão simples quanto lagoas como as utilizadas em Wrocław, na Polônia.

Nesta localidade, os esgotos brutos passam por lagoas onde os sólidos se sedimentam permitindo a irrigação do líquido efluente no terreno. Podem também passar previamente por lagoas aeradas, como em Muskegon, Michigan, cujo efluente é ainda represado antes de ser aplicado no terreno.

A aplicação das águas residuárias no terreno pode ser feita de diversas formas, incluindo inundação, aspersão, sulcos de distribuição (com a plantação ocupando as cristas que separam as valas), escoamento superficial sobre terrenos ligeiramente inclinados ou infiltração rápida.

5.3. ÁREAS NECESSÁRIAS PARA ÁGUAS RESIDUÁRIAS E PARA LODO

A área necessária para tratar uma determinada vazão de águas residuárias é usualmente muito maior do que a requerida para receber o lodo proveniente do tratamento convencional da mesma vazão. Os esgotos de uma população de 300.000 habitantes podem requerer 10.000 acres (cerca de 1.700 alqueires paulistas) de terra, para efetivo reuso da água e do nitrogênio. Por outro lado, somente cerca de 700 acres (ou aproximadamente 117 alqueires paulistas) seriam necessários para receber o lodo, na forma líquida, do tratamento convencional de uma ERQ servindo a mesma população (ou seja 7% da primeira área). Menor área ainda seria necessária para aplicação do lodo, se ele for desidratado.

O tratamento da água residuária por escoamento superficial sobre terrenos inclinados ou por infiltração rápida, ao invés de por aspersão, também exigiria menor área que a indicada.

Não obstante, permanece inquestionável o fato da maior necessidade de área para as águas residuárias do que para o lodo.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MACRO E MICRO NUTRIENTES NECESSÁRIOS AS PLANTAS-METAIS PESADOS

6.1. MACRO E MICRO NUTRIENTES

Dentre os elementos químicos mais importantes para o crescimento das plantas podem ser citados (19) os seguintes:

- Carbono, oxigênio e hidrogênio cedidos pelo ar e pela água.

- Nitrogênio, fósforo e potássio que são os macro nutrientes primários (20) cedidos substancialmente pelo solo (19).

- Cálcio, magnésio e enxofre que são os macro nutrientes secundários (26) cedidos substancialmente pelo solo (19).

- Boro, manganês, zinco, cobre, molibdênio e ferro, além de outros elementos presentes no solo e absorvidos pelas plantas em pequenas quantidades dissolvidas na sua camada superficial, que são os micro nutrientes.

Tais elementos (21), tem sido também designados como traços de elementos ou elementos traço, muitas vezes também chamados de — como resultado da preocupação contemporânea na qualidade do meio ambiente — “metais-traço”, “inorgânicos-traço”, “metais pesados” e “micro-elementos”.

O nitrogênio promove o crescimento das folhas e dos caules (19). É importante constituinte da clorofila e do protoplasma celular, sendo essencial para as transformações energéticas que ocorrem dentro do vegetal (26).

O excesso do nitrogênio dificulta a absorção de outros nutrientes, retarda a colheita e diminui a resistência da folhagem contra as doenças.

O fósforo estimula o crescimento das raízes, acelera a maturação da planta e aumenta sua resistência às doenças (19). A adubação fosfatada

pesada não traz inconveniente às culturas brasileiras (20), contrariamente ao que ocorre com o excesso eventual de nitrogênio e/ou potássio. Isto deve-se ao baixo teor de aproveitamento do fósforo contido nos adubos químicos por parte das raízes e à pobreza dos nossos solos em fósforo (20).

O potássio desenvolve a parte rija dos caules e a polpa das frutas, formando tecidos fibrosos e resistentes (19, 20); é ainda necessário à formação da clorofila e aumenta a resistência da planta contra as doenças. Entretanto (19), retarda a maturação do vegetal.

Praticamente metade do nitrogênio e do potássio contidos no lodo digerido estão na fase líquida, razão pela qual a desidratação do lodo pode diminuir o teor desses nutrientes de forma significativa. A proporção de potássio no lodo em relação ao nitrogênio e fósforo é bastante baixa com relação a necessidade das plantas (19) (vide quadro abaixo).

A concentração de fertilizantes químicos é geralmente expressa em percentagem do peso seco dos sólidos (19).

A digestão anaeróbia reduz o teor de nitrogênio do lodo para 40% ou 50% do seu valor antes da digestão.

6.2. METAIS PESADOS

O uso do termo metais pesados (21) na literatura tem sido mais comumente empregado para designar os metais com densidade superior a cinco.

São os micro nutrientes retro-indicados e ainda o cádmio, o chumbo, o níquel, o cobalto, o selênio, o cromo, o mercúrio, o arsênico, o selênio e a prata.

A literatura sobre os efeitos dos elementos-traço (neles incluídos os metais pesados) nas plantas, é bastante vasta, e a abordagem pormenorizada do assunto, escapa ao âmbito do presente trabalho.

TEORES DE NUTRIENTES PRIMÁRIOS

| Fonte | % em peso seco dos sólidos | | |
|--|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | N | P (P ₂ O ₅) | K (K ₂ O ₃) |
| Lodo primário fresco sedimentado por gravidade, sem produtos químicos | 0,8 a 5 | 1 a 3 | 0,1 a 0,3 |
| Lodos ativados | 3 a 10 | 1 a 3 | 0,1 a 0,3 |
| Humus de filtros biológicos | 1,5 a 5 | 1 a 3 | 0,1 a 0,3 |
| Esterco animal | 1 a 4 | 1 a 4 | 1 a 4 |
| Resíduos de matadouros, sangue e resíduos de limpeza de peixes | 5 a 13 | 0,5 a 14 | 1 a 2 |
| Pastas residuais de alimentos preparados com sementes de algodão e polpa de mamona | 5 a 13 | 0,5 a 14 | 1 a 2 |

Para os interessados, é recomendável o exame das páginas 28 a 61 da referência (21): "Fate and Effects of Trace Elements in Sewage Sludge When Applied to Agricultural Land" (EPA 670/2-74-005), e também das páginas 2380 a 2389 da referência (11) "Land Application Guidelines for Sludges Contaminated With Toxic Elements" (Garrigam, WPCF Journal, Dec. 1977).

É entretanto oportuna a informação constante da página 72 (21):

"Os dados indicam portanto que lodos de origem predominantemente doméstica (ligeira contribuição industrial), podem ser aplicados aos solos por vários anos, à taxas de 10 a 20 toneladas métricas por hectare, sem causar concentrações de elementos-traço incomuns aos solos em geral".

Ainda sobre os efeitos tóxicos dos metais pesados nas plantas, embora ainda não exista na atualidade um consenso entre os autores sobre uma lista única de metais tóxicos significativos, as diferenças entre os diversos autores não são grandes (11).

Há unanimidade razoável, que de uma forma geral, os elementos tóxicos mais significativos provenientes dos lodos de ERQS municipais são o zinco, o cobre, o níquel, o cádmio e, com efeitos menos graves, o boro (11). No Literature Review do Journal WPCF (June 1977, página 1052) reporta-se que, confirmando a assertiva acima, Wash e outros realizaram uma revisão da influência de 16 nutrientes essenciais às plantas e de 8 nutrientes menos essenciais, todos provenientes de despejos aplicados ao solo, concluindo também que os efeitos potenciais mais tóxicos são sem dúvida devidos ao zinco, ao cobre, ao níquel e ao cádmio. O "Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal", da EPA (9), acrescenta o chumbo à lista dos quatro retro-mencionados, lembrando ainda que o zinco e o cobre são micronutrientes que melhoram a qualidade e estimulam o crescimento das plantas, quando o lodo for distribuído em uma camada uniforme e fina.

7. TIPOS DE CULTURA PERMISSÍVEIS EM TERRENOS QUE RECEBAM LODO

De uma forma geral, qualquer cultura de grãos ou frutas que não entram em contato direto com o solo — e portanto com o lodo aplicado — pode ser considerada adequada, sob o ponto de vista de segurança sanitária (25).

De uma forma mais restrita, culturas destinadas a serem consumidas cruas pela população, não devem ser plantadas em terrenos que recebem lodo (26).

Especificamente, algumas culturas reportadas como tolerantes, são discriminadas a seguir. A ênfase especial que se dá à tolerância pelo cádmio é justificada ao fim da relação.

7.1 Milho

- Frequentemente cultivado em solos enriquecidos com lodo (26).

- Cultivados desde 1967 em terrenos de Fulton County (Município de Fulton), a cerca de 300 km de Chicago; vem sendo fertilizados com lodo líquido digerido e aplicado por aspersão (27, 28).

- Apresenta tolerância moderada a ions metálicos tóxicos e é um excelente indicador da deficiência de ions metálicos necessários (29).

- A aplicação de lodo digerido desidratado ao milho, tem resultado em taxas de crescimento notáveis, quando comparado a cultura teste que não recebeu o lodo (5).

- Plantações conjuntas de aveia e centeio junto com o milho resultam em mais remoção de nitratos dissolvidos no solo do que a palntação isolada do milho (28).

7.2 Arroz

- Tolerante a concentrações de cádmio, artificialmente aditado ao lodo, de até 640 microgramas de Cd por grama de solo (30).

7.3 Trigo

- Frequentemente cultivado em solos enriquecidos com lodo (26).

- Cultivado também em Fulton County em menor proporção (26, ver "milho" item 7.1).

7.4 Soja

- Cultivado também em Fulton County em menor proporção, como o trigo (26).

- Sensível ao cádmio em concentrações baixas (4 a 13 microgramas de cádmio/grama de solo) (30).

7.5 Repolho

- Muito resistente a elevadas concentrações de cádmio, até o limite de 170 microgramas Cd/grama de solo (30, ver "arroz").

- Taxa de crescimento notável quando comparado com plantação que não recebeu lodo digerido desidratado (5).

7.6 Frutas cítricas (laranja, limão, lima e pomelo)

- Cultivadas na Flórida há mais de 10 anos com lodo desidratado proveniente de Houston e transportado até lá por barca ou ferrovia (26).

- Taxa de crescimento notável quando comparado com plantação que não recebeu lodo digerido desidratado (5).

7.7 Colheitas para forragem

- Frequentemente cultivada em solo enriquecido com lodo (13, 26).

A absorção de cádmio pelas plantas é um dos aspectos do problema geral de absorção de metais pesados por culturas em solos que receberam lodo:

- O cádmio ocorre no lodo de esgotos em concentrações que variam de negligíveis a significativas;

- A exposição crônica a baixas concentrações de cádmio, já resultou em numerosos casos de doenças em seres humanos, muito embora apenas cerca de 10% de cádmio ingerido seja absorvido pela corrente sanguínea, sendo o restante eliminado com as fezes.

8. RISCOS ASSOCIADOS A APLICAÇÃO DO LODO NO TERRENO — PRECAUÇÕES E LIMITAÇÕES

O "Manual para Projetos de Processos de Tratamento de Lodo e sua Disposição Final", editado pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos em outubro de 1974 (9), traz recomendações relevantes.

Os principais componentes do lodo que determinam as suas taxas de aplicação satisfatória no terreno são o nitrogênio, os elementos-traço (incluindo metais pesados) e os organismos patogênicos.

8.1 Nitrogênio

O excesso de nitrogênio polui as águas do subsolo com nitratos. Os processos que afetam a formação de nitrogênio no solo podem ocorrer concomitantemente e o progresso desses processos é fortemente influenciado pelo tipo do solo e pelo clima.

Tais processos são a mineralização, a nitrificação e a desnitrificação, a imobilização, a fixação, a volatilização, a capacidade de troca de cations, a convecção e a absorção pelas plantas, dentre outros, donde a dificuldade de estabelecimento de normas sobre taxas ótimas de aplicação que não envolvam o risco de poluição por nitratos. Taxas consideradas seguras (9), serão reportadas no sub-item 8.4.

Taxas ótimas deverão ser pesquisadas caso por caso considerando-se o tipo de solo, a geologia local, o clima, o tipo da cultura e a confiabilidade no gerenciamento da operação.

8.2 Metais Pesados

Tem sido divulgado que os metais pesados são função de presença dos despejos industriais e que lodos originários de ERQS que recebem esgotos de origem predominantemente doméstica, são seguros quanto ao teor de metais pesados.

Infelizmente, a análise de lodos de cidades como Washington, D.C., não apoia esta assertiva. Alguns lodos de origem predominantemente doméstica apresentam teores significativos de metais pesados.

É recomendável que se proceda a eliminação dos metais pesados na origem, caso seja verificada sua presença em teores proibitivos no afluente à ERQ.

A tolerância das culturas aos metais pesados varia amplamente e depende bastante da interação das propriedades de determinado solo com as diversas culturas que possam nele ser planejadas.

A toxicidade dos metais pesados é mais prevalente e grave quando o solo é aplicado em terrenos ácidos, não corrigidos por calagem.

8.3 Organismos patogênicos

Os riscos de contaminação diminuem com a adoção de uma das seguintes precauções:

- Represamento do lodo por 30 dias, o que tem reduzido de 99,9% o N.M.P. de bactérias coliformes.

- Pasteurização a 70°C por 30 minutos o que elimina organismos patogênicos, vírus, cistos, ovos de vermes e oocistos ("cápsulas" protetoras de ovos).

- Adição de cal (calagem) para que o pH suba até 12,4.

- Emprego de cloro para estabilização e desinfecção do lodo.

Muitas cidades grandes que dispõem o lodo no terreno costumam represá-lo em lagoas; uma vantagem adicional é a maior flexibilidade à operação, pois o lodo fica armazenado durante os períodos em que a aplicação não é oportuna à agricultura.

8.4 Taxas de aplicação seguras

As taxas de aplicação de lodo ao terreno tem variado desde 1 até mais de 220 toneladas por hectare. A aplicação às taxas que sustentem as necessidades de nitrogênio da cultura, usualmente de 11 a 22 toneladas de lodo líquido digerido por hectare e por ano, evita os problemas associados a sobrecarga do solo.

A aplicação do lodo deve cessar duas semanas antes da sementeira do campo, pois os compostos de amônia são tóxicos à algumas sementes.

Condições relativas ao solo

* toneladas de sólidos de lodo seco/hectare/ano

Ligeiras limitações

22 a 44

Limitações moderadas

menos de 22

* A literatura americana utiliza o "short-ton/acre", que equivale a 2,2 t/ha.

Uma orientação grosseira sobre taxas de aplicação seguras, (a taxa ótima deve ser determinada caso por caso) encontra-se no quadro acima (9).

Os pontos específicos que devem ser continuamente considerados e/ou monitorados durante a aplicação, são:

- Composição de elementos traço no lodo, no solo e na cultura.

- Teor de nitrogênio no lodo, no solo, na cultura e controle da poluição potencial dos aquíferos por nitratos.

- O uso exclusivo de lodo desinfetado em árvores frutíferas baixas ou em vegetais que são consumidos crus.

- A sobrecarga hidráulica do solo.

- Medidas de controle do escoamento superficial das águas e da erosão do terreno.

8.5 Outras recomendações

A "Food and Drug Administration" dos Estados Unidos apresentou recomendações para o uso de lodo em solos agrícolas, na Terceira Conferência Nacional de "Sludge Management, Disposal and Utilization" (Dezembro, 1976-Miami):

- Os lodos não devem conter mais do que 20 ppm de Cd, 1000 ppm de Pb, ou 10 ppm de PCB (bi-fenilas policloradas) em base seca.

- Para um solo médio, assim entendido o que possuir capacidade de troca de cations entre 5 e 15, a quantidade máxima total de lodo que poderá ser aplicada, deve ser limitada pelas taxas máximas de 9 libras de cádmio por acre (10 kg/ha) e 9000 libras de chumbo por acre (10000 kg/ha).

- Culturas que sejam normalmente consumidas cruas não devem ser plantadas antes de três anos da última aplicação de lodo.

- O lodo não deve ser aplicado diretamente em culturas já germinadas ou em maturação, pelo risco de suas partículas acompanharem a colheita do plantio.

- Produtos fertilizantes derivados do lodo devem conter rotulagem específica que salvaguarde seu uso apropriado pelos consumidores.

A edição de 1977 do Wastewater Treatment Plant Design (WPCF-MOP/8 ref. 1) traz as seguintes características para o lodo após sua compostagem (vide quadro abaixo).

Os resíduos sólidos são acrescentados ao lodo para diminuir seu teor de umidade, permitir a formação de pilhas favoráveis à reação exotérmica e aumentar o teor de carbono da biomassa. Uma razão de carbono nitrogênio igual a 20 tem sido sugerida como limite operacional máximo para que a operação de compostagem seja dada concluída (1).

9. DESCRIÇÃO DE TRÊS MÉTODOS DE APLICAÇÃO DO LODO EM SOLOS AGRÍCOLAS

9.1 Compostagem do lodo em fileiras

Trata-se do mais antigo processo de compostagem (24). O lodo digerido e desidratado a 80% de umidade, é misturado com composto já maduro e/ou com outros materiais absorventes, como lascas de madeira, serragem, palha de arroz, palha de milho ou folhas secas.

| Método | Material | Teor de umidade | Temperatura máxima alcançada | Qualidade Biológica |
|--|-------------------------|-----------------|------------------------------|--|
| Fileiras | Lodo | 60% | 52°C | Livre de patogênicos só após 6 meses |
| Fileiras | Lodo + resíduos sólidos | 40 a 60% | 55°C | Livre de patogênicos após 3 semanas |
| Compostagem mecânica em tambores rotativos | Lodo + resíduos sólidos | 50% | 60°C | Livre de patogênicos após 6 ou 7 semanas |
| Compostagem mecânica em torre rotativa | Lodo + resíduos sólidos | 45 a 55% | 65°C | Livre de patogênicos após 1 dia |

A mistura resultante, com teor de umidade da ordem de 45 a 65% em peso (1), possui viabilidade estrutural para formação de uma pilha, a par de ter friabilidade e porosidade suficiente para permitir a aeração pelo revolvimento mecânico, indispensável à manutenção das condições aeróbias da biomassa, durante a compostagem.

Esta mistura é empilhada em fileiras e revolvida periodicamente por uma pá mecânica ou por outros equipamentos específicos, disponíveis comercialmente, dando início a uma reação exotérmica, cuja temperatura se eleva a mais de 60°C (1).

O período de digestão é de normalmente seis semanas (1).

Em Los Angeles, desde 1972 (24), é empregado este processo para fabricação de composto, comercializado pela Kellogg Supply Company. A compostagem de lodo digerido e desidratado em Los Angeles foi recentemente ampliada, passando de 100 para 270 toneladas por dia (24).

As fileiras formadas em Los Angeles, têm secção aproximadamente triangular, com 3 metros de base por 1,2 metros de altura, e são revolvidas duas vezes por dia durante os primeiros cinco dias e daí por diante, uma vez por dia até o fim da compostagem.

O período de compostagem, naquela instalação, varia de 21 dias no verão até 40 dias no inverno, sob temperaturas de biomassa que vão desde 54 a 71°C. O produto final, com unidade de 30 a 40%, é transportado pela Kellogg para peneiramento e ensacagem em suas instalações, sendo posteriormente vendido sob o nome de "Nitro humus" (24).

Na Virginia (Upper Coccoquan Sewer Authority) encontra-se em

construção uma instalação para compostagem, completamente coberta para facilitar a continuidade da operação durante as chuvas (24).

Em Ontario, no Canadá, desde 1973 (32) é feita a compostagem aeróbia de lodo digerido e desidratado a 70% de umidade pelo processo de filieras.

O lodo é misturado com serragem na proporção de 4/1 em peso e disposto em fileiras de 4,5 m de base por 3 m de altura, periodicamente revolvidas por equipamento mecânico durante três meses, após o que é considerado pronto para uso em fazendas. Para utilização em hortas caseiras, maior período de maturação é requerido, o que significa conservar a fileira armazenada durante cerca de nove meses. Após este período, é reportada a completa estabilização do produto, que é vendido por atacado ou no varejo, sob o nome de Grow-Rich Compost.

Uma análise típica do Grow-Rich revelou a seguinte composição:

| | |
|---------------------------------|-------|
| Nitrogênio | 1,0% |
| Fósforo | 0,6% |
| Potássio | 0,2% |
| Umidade | 50,0% |
| Matéria volátil da amostra seca | 31,8% |
| pH | 7,05 |

Os preços máximos de venda de compostos nos Estados Unidos, relatados em Dezembro de 1976 (33) (página 42), oscilam entre 4 a 10 dólares por toneladas não ensacada e retirada pelo usuário. Os custos de ensacagem variam de 10 a 30 dólares por tonelada, dependendo do do volume total.

9.2 Injeção sub superficial de lodos digeridos e msolos agrícolas (34)

O método usual de aplicação de lodo líquido no terreno tem sido por aspersão ou por lançamento de jatos sob pressão a partir de um caminhão tanque.

As objeções a estes métodos usuais têm sido:

- Contaminação das águas superficiais;
- Desprendimento de odores ofensivos;
- Poluição visual.

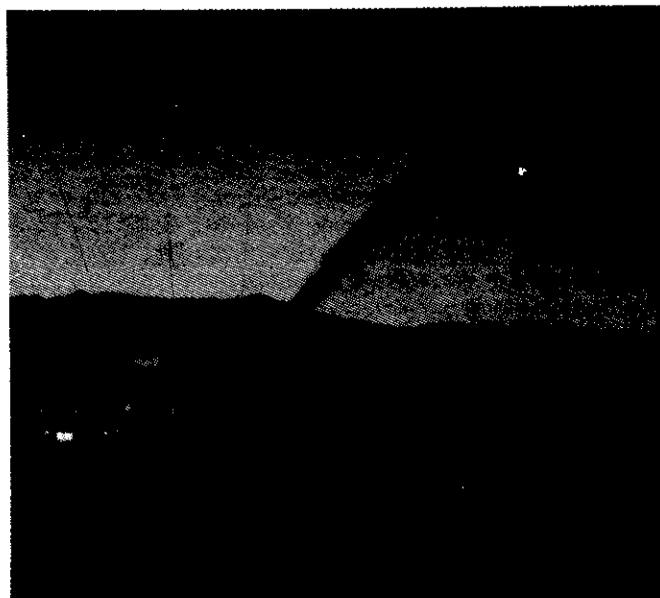
Foram realizados testes na Universidade de Colorado, dando origem posteriormente a equipamento comercial para injeção subsuperficial de lodo (34), já exportado para a Inglaterra (35).

Um sistema eficaz de injeção subsuperficial deve atender às seguintes condições:

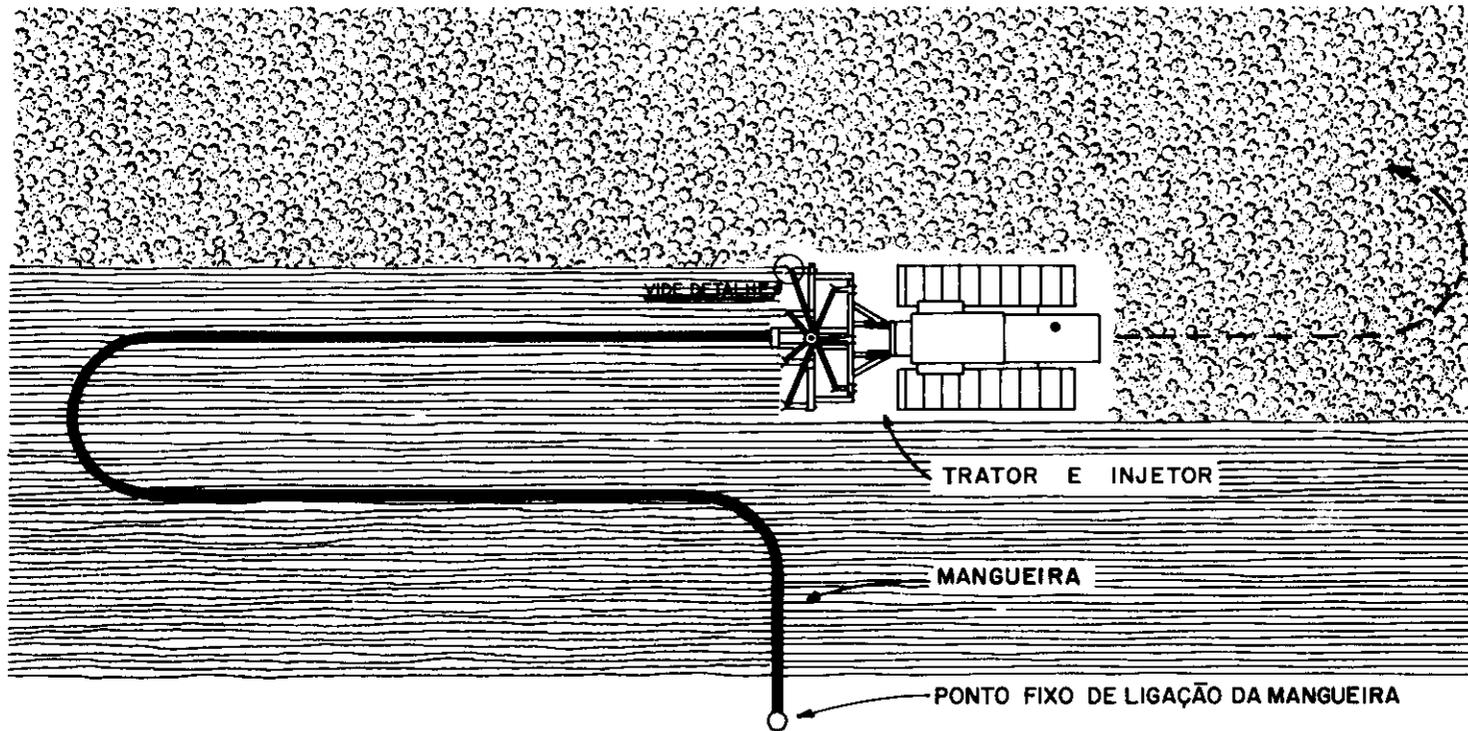
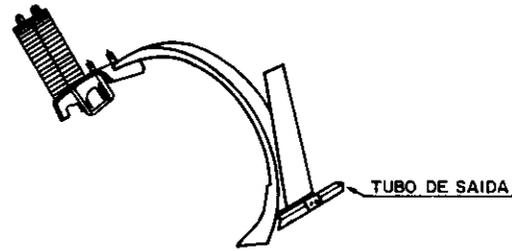
- Minimizar a inversão das camadas superficiais do solo;
- Propiciar 100% de cobertura para o material injetado;
- Ser capaz de operar com altas taxas de aplicação;
- Demandar pouca energia;
- Operar em condições de tempo variáveis, mesmo adversas;
- Operar em qualquer época do ano, sendo capaz de armazenar o lodo para aplicação na época desejada e às taxas desejadas requeridas pela cultura e pelo solo.

O sistema desenvolvido pelos autores (34) permitiu concluir que:

MÉTODO USUAL DE LANÇAMENTO DE LODO COM CAMINHÃO TANQUE (Nishihara Environmental Co - Hokkaido - Japão)



DETALHE DO INJETOR



MÉTODO DE INJEÇÃO SUB-SUPERFICIAL DE LÔDO

ESPECIFICAÇÃO PARA O ARADO COM 7 PERFIS INJETORES

| | |
|---|------------------------------|
| Velocidade de avanço do trator | 0,8 a 2,5 km/hora |
| Capacidade por perfil injetor | 4 a 8 litros/segundo |
| Profundidade de operação | 8 a 30 cm |
| Potência requerida para o trator | |
| de pneus | 100 cv |
| de esteira | 42 cv |
| Taxa de aplicação | 190 a 760 m ³ /ha |
| Pressão requerida na entrada da mangueira | 4,08 atm |
| Máximo teor de sólidos no lodo | 8% |

- A mistura completa solo/lodo é necessária;
- A profundidade de injeção deve ser no máximo de 20 cm;
- Se o lodo for injetado a profundidades maiores, sua secagem não se processa com facilidade, e não se pode reaplicar o lodo no mesmo local, com a frequência desejável.

O sistema desenvolvido basicamente encontra-se ilustrado na ilustração da página ao lado:

Consta de um arado especial, de número variável de perfis curvos injetores, como especificado nos quadros desta página, e que funciona atrelado a um trator agrícola de esteira ou de pneu. Quando o perfil rasga o solo, cria uma cavidade rasa e larga, na qual o lodo é injetado. O solo cortado, circunda a lâmina do perfil, cobrindo de novo a cavidade, na medida em que é misturado com o lodo que está sendo injetado.

A área possível de ser abrangida por ponto estacionário fixo de ligação da mangueira é de 7,5 ha.

O uso de tratores de pneu, embora possível, revelou possuir as desvantagens de operar com dificuldade sob chuva (risco de atolar), além de, com terreno firme, trabalhar com uma taxa de aplicação menor, devido a velocidade de avanço ser maior.

Estes arados especiais, com perfis curvos, estão disponíveis no mercado americano, como indica o quadro ao lado.

Durante os últimos 4 anos (1972-1976) vários problemas práticos foram resolvidos em Boulder, Colorado sobre métodos operacionais e cuidados de manutenção requeridos. Em Boulder, o lodo digerido é bombeado da ERQ até um tanque de retenção próximo ao digestor. Deste tanque é novamente bombeado por bombas centrífugas até o ponto estacionário no campo da cultura, que será ligado à mangueira do trator.

Em outra instalação, a mangueira do trator é ligada a uma bomba montada na traseira de um caminhão tanque de 8000 galões (30 m³) de capacidade, que é utilizado para transportar o lodo da ERQ ao campo.

Para estações de recuperação pequenas, tem sido mais utilizado o transporte de lodo para o campo através de caminhões tanque. Com efeito, um ou dois caminhões tanque, podem servir diversas ERQS pequenas, transportando o lodo para um único ponto fixo de ligação da mangueira, no campo de cultivo que receberá o lodo.

As áreas brutas incluindo estradas de acesso, lagoas, áreas de manobra e áreas úteis para efetivo recebimento de injeção sub-superficial, foram avaliadas para cada capacidade de ERQ pelos autores (34) (vide quadro abaixo).

A taxa de aplicação considerada foi de 15 toneladas secas de lodo por acre por ano (ou 33 t/ha/ano).

As lagoas foram consideradas pelos autores para armazenamento de lodo no inverno (solo congelado), situação não válida para o Estado de

São Paulo, o que tenderia a diminuir ligeiramente as necessidades de áreas supra indicadas.

A manutenção requerida tem se limitado a:

a) troca dos perfis curvos injetores duas vezes durante o primeiro ano de operação;

b) relocação do acoplamento da mangueira, a cada 3 ou 4 meses, cortando-se cerca de 0,5 metro da mesma próximo ao seu engate e reajustando-se o colar de fixação;

c) troca dos perfis curvos injetores uma vez por ano, nos anos subsequentes ao primeiro.

Os custos totais de estabilização do lodo, transporte a 3 km por linha de recalque e aplicação sub-superficial contínua no terreno, foram estimados pelos autores (34) para três alternativas de estabilização dos lodos na ERQ:

- 1.º — Com digestão aeróbia dos lodos secundários;
- 2.º — Com digestão aeróbia dos secundários e anaeróbia dos primários;
- 3.º — Com digestão aeróbia dos primários e secundários.

Para cada alternativa foram predimensionadas ERQS com as capacidades de 3,10 e 30 MGD (131, 438, e 1314 l/s).

As premissas do predimensionamento e do estudo econômico financeiro escapam ao interesse deste artigo nesta oportunidade.

Entretanto, cita-se a seguir, um resumo sucinto dos custos totais anuais de investimento, operação e manutenção, separadamente para cada capacidade de ERQ e para o respectivo recalque de 3 km ao campo (em US\$ 1000/ano) a custos de 1977 (acima, na próxima página).

| Número de perfis curvos injetores | Largura do arado (m) | Diâmetro da mangueira (pol) | Vazão (l/s) |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|
| 3 | 1,30 | 3 | 10 a 13 |
| 5 | 2,16 | 3 | 19 a 26 |
| 7 | 2,77 | 4 1/8 | 38 a 51 |
| 9 | 3,68 | 4 1/2 | 51 a 64 |

| Capacidade da ERQ | | Área Bruta média (ha) | Área Líquida média (ha) |
|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| MGD | m ³ /s | | |
| 3 | 0,131 | 26 | 22 |
| 10 | 0,438 | 87 | 72 |
| 30 | 1,314 | 260 | 217 |

| Alternativas | Estabilização | | | Transporte | | |
|--------------|---------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | 3 MGD | 10 MGD | 30 MGD | 3 MGD | 10 MGD | 30 MGD |
| 1 | 69 | 162 | 365 | 76 | 98 | 164 |
| 2 | 90 | 185 | 429 | 83 | 103 | 177 |
| 3 | 98 | 218 | 544 | 80 | 106 | 181 |

Conclui-se, da análise de custos, que a distância de transporte tem um efeito significativo nos custos totais anuais, particularmente para a ETE de 3 MGD (131 l/s).

Com efeito os custos totais anuais médios das três alternativas para a "estabilização" e o "transporte", podem ser comparados a seguir (em US\$ 1000/ano) a custos de 1977:

| Capacidade (C) da ERQ | Custo anual médio das alternativas | | E T x C |
|-----------------------|------------------------------------|------------|------------|
| | Estabilização | Transporte | |
| 3 MGD | 86 | 80 | 0,36 |
| 10 MGD | 188 | 102 | 0,18 |
| 30 MGD | 463 | 174 | 0,09 |

Finalmente, uma idéia grosseira dos custos anuais médios, por habitante servido, considerando-se a es-

tabilização e o transporte dos lodos a 3 km, pode ser avaliado (à taxa de US\$ 1 = Cr\$ 20) em:

| Capacidade da ERQ MGD | m ³ /s | Custo anual médio total | | População servida a 300 l/hab/dia (1000 hab) | Cr\$ hab x ano |
|--------------------------|-------------------|-------------------------|---------------|--|-------------------------|
| | | US\$ 1000/ano | Cr\$ 1000/ano | | |
| 3 | 0,131 | 166 | 3.320 | 38 | 87 |
| 10 | 0,438 | 290 | 5.800 | 126 | 46 |
| 30 | 1,314 | 637 | 12.740 | 380 | 33 |

Por m³/s de esgotos tratado e aplicado, os custos variam de Cr\$ 25 x 10⁶/ano para a menor ETE, a Cr\$ 10 x 10⁶/ano para a maior estação.

9.3 Compostagem de lodos primários e secundários pelo método da pilha aerada de Beltsville para lodos não digeridos (36).

A capacidade de tratamento da ERQ de Blue Plains em Washington foi ampliada em agosto de 1974, mês de conclusão das obras de expansão de seu tratamento primário, que passou da capacidade hidráulica de pico de 300 MGD (13 m³/s) para 939 MGD (41 m³/s). Novos tanques de aeração para o tratamento secundário foram concomitantemente construídos, aumentando, por conseguinte, a quantidade de lodo retido no processo de tratamento.

Desde 1970 a ERQ vinha produzindo cerca de 300 toneladas de lodo digerido por dia, a 23% de sólidos. O Metropolitan Washington Council of Governments (COG), assumiu a decisão de que a incineração seria o destino final mais adequado para a disposição final dos lodos da ERQ de Blue Plains.

Durante a construção dos incineradores, a Maryland Environmental Service (MES), agência semi governamental, assumiu a responsabilidade

de de dispor o lodo no terreno. Com este objetivo, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em cooperação com o COG e MES, iniciou em 1971, pesquisas para disposição adequada no solo, incluindo aterros e compostagem. Durante os anos de 1973 a 1974, mais de 50 toneladas de lodo digerido por dia foram transformadas em composto para agricultura, pelo método de revolvimento de fileiras.

Este método, adequado para compostagem de lodo digerido, não é aceitável para compostagem de lodo bruto, devido aos problemas de odores ofensivos desprendidos durante o processo e ao risco de sobrevivência de organismos patogênicos nas camadas externas das fileiras, em virtude das temperaturas baixas ali prevalentes.

Por outro lado, com a conclusão das obras já mencionadas de ampliação da ERQ em agosto de 1974, passaram a ser produzidas mais 200 toneladas de lodo bruto (primário mais secundário) por dia, além das 300 toneladas de lodo digerido correspondentes a capacidade dos digestores existentes.

A capacidade de digestão da ERQ não foi ampliada.

A necessidade de disposição do lodo bruto resultou no desenvolvi-

mento do processo da Pilha Aerada de Beltsville, descrito a seguir (36).

Descrição do processo: (vide ilustração)

a) O lodo filtrado, com teor de umidade de 77%, é misturado por uma pá mecânica com aparas de madeira, nas proximidades do local onde será feita a pilha. O teor de umidade cai para 60%, e a porosidade criada na biomassa, propicia condições para a penetração do ar na mesma, condição essencial para a compostagem aeróbia. Por outro lado, a mistura favorece a formação da pilha pelo maior coeficiente de atrito da biomassa formada;

b) no local onde será feita a pilha, encontra-se previamente instalado o soprador (1/3 CV) e a tubulação perfurada com a disposição indicada na figura, coberta pela camada (1) acima descrita. O espaçamento entre os tubos não deve exceder a altura da pilha e sob os taludes da pilha a tubulação não deve ter furos para a passagem do ar. A pilha é construída com as dimensões básicas por módulo de 12 m x 6 m (base) por 2,5 m (altura) se for utilizada uma pá mecânica. Pilhas mais altas (de até 5,4 m) foram também feitas com uso de guindaste, verificando-se um decréscimo tolerável (10%) na capacidade de aeração da biomassa, apesar da maior compactação do material, durante os 21 dias de compostagem. As pilhas de 2,5 m de altura podem ser geminadas, como indicado na figura, por razões de economia de terreno. Cada pilha pesa cerca de 40 toneladas;

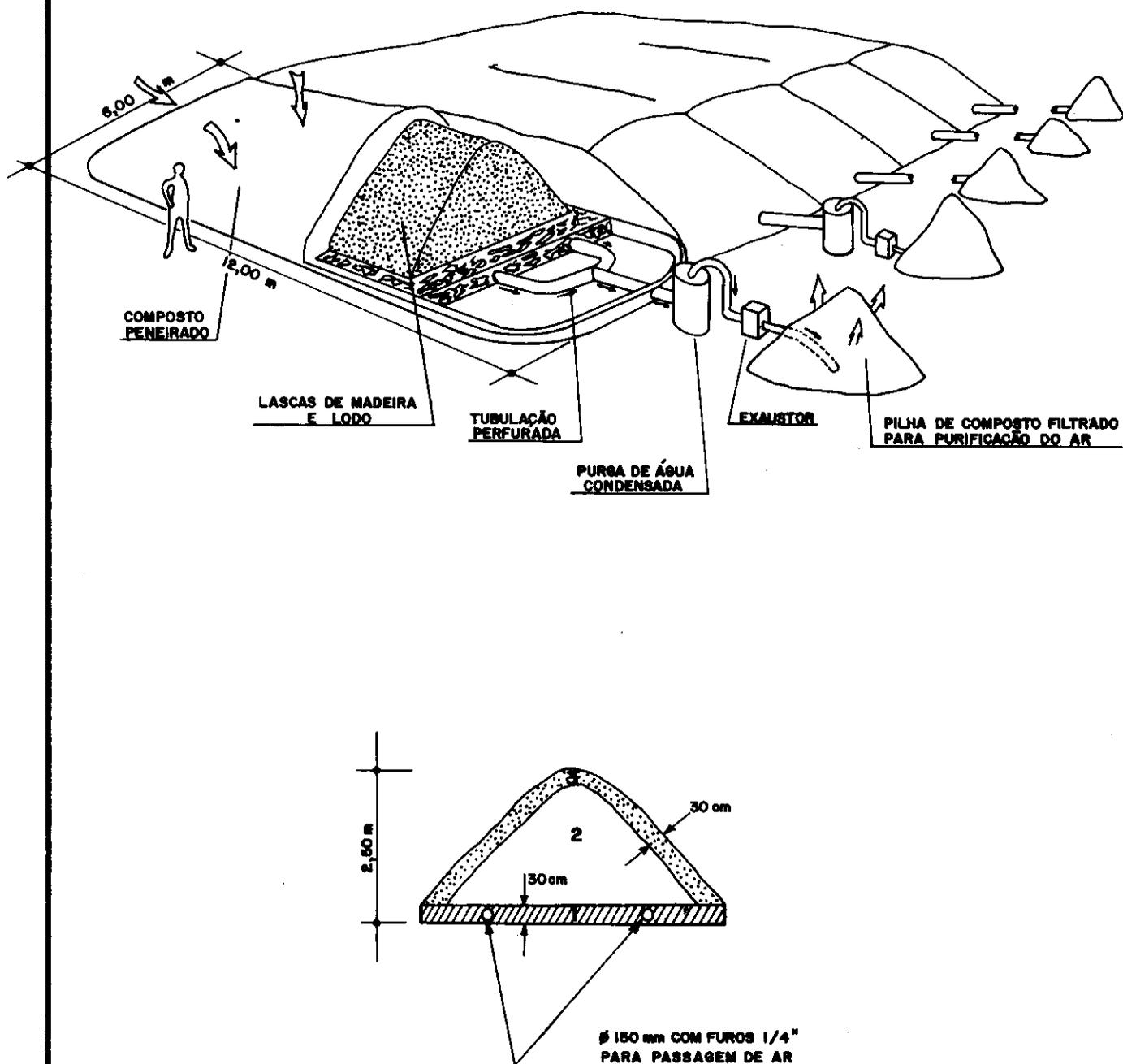
c) procede-se a selagem da pilha construída com uma camada de composto peneirado (camada 3).

d) as condições aeróbias de compostagem são mantidas mediante sucção do ar da pilha, de forma intermitente, durante 21 dias, prazo requerido para a compostagem do lodo;

e) o ar efluente é injetado em uma pequena pilha de composto já maduro e peneirado, onde os odores ofensivos são totalmente absorvidos. O soprador, operando intermitentemente, funciona a uma taxa de 100 pés cúbicos por hora por tonelada de lodo (0,8 m³/h/t), procurando-se manter um nível de 5 a 15% de oxigênio na pilha maior. Isso é conseguido, mediante ajuste do funcionamento do soprador, simultaneamente a medições do oxigênio na pilha, a diferentes profundidades. Feito o ajuste, o soprador funciona com um "timer";

f) a temperatura na pilha cresce rapidamente na faixa termofílica durante os primeiros 3 a 5 dias, alcançando até 80°C. Acima de 55°C constata-se efetiva eliminação da maior parte de micro organismos patogênicos.

MÉTOD0 BELTSVILLE DA PILHA AERADA PARA COMPOSTAGEM DE LODO



Camada 1 — Lascas de madeira ou composto já pronto antes do peneiramento: absorção de umidade e prevenção de entupimento dos furos de passagem do ar.

Camada 2 — Mistura de torta de lodo bruto filtrado (23% de sólidos), com lascas de madeira, na proporção de 1 volume de lodo para 2 volumes de lascas de madeira (cerca de 1:1 em peso).

Camada 3 — Composto selecionado pela passagem em uma peneira com abertura de malhas de 1 cm: evita o escape de odores ofensivos e conserva termicamente a pilha.

| Características | Lascas de Madeira | Folhas e Lascas 60/40 | Folhas |
|--|-------------------|-----------------------|--------|
| Razão em volume aditivo/lodo | 2,5/1 | 2,5/1 | 2/1 |
| Temperatura média das máximas diárias durante 21 dias (°C) | 80 | 77 | 77 |
| Temperatura máxima (°C) | 82 | 84 | 77 |
| Dias em que a temperatura mínima excedeu 60°C | 6,5 | 10 | 9 |

g) a temperatura começa a decrescer após 3 semanas, o que indica que a maior part edos constituintes orgânicos foi utilizada pela microflora e que o lodo encontra-se estabilizado;

h) foi observado que condições climáticas desfavoráveis, como ocorrência de chuvas intensas ou baixa temperatura ambiente (-2 a +0°C), não influenciam a temperatura no interior da pilha;

i) após 21 dias de compostagem na pilha aerada, se as condições climáticas são favoráveis, procede-se a secagem ao ar livre, ao peneiramento do composto e ao reaproveitamento das lascas de madeira utilizadas na pilha. Depois da secagem a 75% de sólidos (6) e do peneiramento, o composto é aerado durante 30 dias em galpões, como tivemos oportunidade de observar em 1977 na Sankyo Composting Plant, próximo da cidade de Hakata, no Japão (6), onde 100 toneladas/dia de composto são produzidas, ensacadas e vendidas a 700 Yens/20 kg (US\$ 3,50 ou Cr\$ 70,00 por saco de 20 kg).

Nos Estados Unidos (36), a secagem que precede ao peneiramento, é feita até que se consiga um teor de umidade de apenas 45 a 40% sendo a segregação da mistura do composto com as lascas de madeira feita numa peneira rotativa de tiragem automática. Como já mencionado, as lascas de madeira são reaproveitadas para mistura com novas cargas de lodo filtrado;

j) se as condições climáticas não são favoráveis, após 21 dias de compostagem, procede-se primeiro, ao armazenamento de 30 dias para cura e, depois, à secagem e ao peneiramento. O período de cura é uma extensão do processo de compostagem e processa-se a temperaturas elevadas, se bem que menores que as verificadas na pilha aerada. Seu propósito é assegurar a dissipação de gases nocivos às plantas (fitotóxicos) e eliminar totalmente quaisquer microorganismos patogênicos remanescentes;

l) outros aditivos que não lascas de madeira foram testados (36) para compostagem do lodo, citando-se como exemplo mistura de folhas se-

cas com lascas de madeira ou uso exclusivo de folhas de outono (acima).

m) o custo para compostagem de tortas de lodos a 23% de sólidos foi determinado (36) como compreendido entre 8 a 12 dólares por tonelada de lodo a este teor de umidade. Os custos consideraram custos de processamento, aquisição do terreno, custos de capital, amortização, operação e manutenção do equipamento. Não incluíram os custos de frete do lodo e comercialização do produto;

n) ao se promover a aeração devem ser tomados os seguintes cuidados:

— a aeração não deve ser excessiva pois a destruição de organismos patogênicos depende das temperaturas elevadas do processo. Deve-se assim evitar que os furos para passagem de ar se localizem sob os taludes da pilha, pois a diminuição da altura da massa que o ar deve atravessar, pode ocasionar aeração excessiva;

— a sucção do ar através dos tubos colocados na base é mais eficiente do que a injeção de ar pelos mesmos tubos, pois no primeiro caso, verificou-se (36) existir distribuição mais homogênea de ar pela biomassa, evitando zonas de temperaturas mais baixas, onde a compostagem se processa de forma incompleta.

A contagem de coliformes fecais no lodo não digerido constituinte da pilha foi reduzida de $1,6 \times 10^7$ /grama no início da compostagem para 0,9 a 23/grama ao cabo dos 21 dias. Não foi constatada a presença de salmonelas.

Ainda no "Journal of Waste Recycling" Vol. 18 n.º 1 de Jan.-Fev. de 1977 encontra-se a informação que no outono de 1977 a ERQ de Blue Plains em Washington, D.C. "estará fazendo a compostagem de 600 toneladas por dia dos lodos da estação". É ainda reportado que o composto tem sido amplamente utilizado até o momento pelo National Park Service para cama vegetal (mulch) e condicionador de solos dos seus parques e jardins.

A publicação informa ainda que para a compostagem de 600 toneladas por dia está sendo prevista a utilização de 30 acres de terreno (12 ha), 17 dos quais estão em litígio com o National Park Service em Oxon Cove, onde existe plano para implantação de um campo de golfe.

Encontra-se também na publicação de Mai-Jun. 1977 do Journal supra referido, as seguintes informações relacionadas com a instalação de Washington:

1 — a EPA aprovou a venda do produto em atacado para uso em culturas não destinadas ao consumo humano.

2 — Agrônomos da Universidade de Maryland estão trabalhando em normas que possibilitem o uso do composto em culturas destinadas ao consumo humano.

Em 1975, foram analisadas 39 amostras de solo enriquecido com o composto. Em 1976, foram analisadas 153 amostras.

Finalmente parece estar comprovado que uma das vantagens da compostagem do lodo é a redução acentuada no teor de metais pesados ("Composting Sewage Sludge by High Suction Aeration Techniques" Mosher, D. and R. Kent Anderson — Demonstration Grant 803828 US EPA 1977 Journal ou Wastes Recycling — Nov./Dec. 1977).

10. EXPERIÊNCIA BRASILEIRA EM COMPOSTOS ORGÂNICOS — PROPOSIÇÃO DE UM PROGRAMA PARA USO DO LODO DE ERQS.

No Brasil existem alguns exemplos de fabricação de compostos orgânicos para agricultura, produzido a partir de lixo domiciliar.

Não foi possível apurar nenhum caso de aplicação sistemática de lodo de estações de tratamento de esgotos, compostados ou não, na agricultura brasileira.

Pelo processo patenteado DANO, existem sete instalações de compostagem de lixo orgânico no país: duas na capital de São Paulo e as outras em São José dos Campos (SP), Brasília, Belo Horizonte, Belém e Roraima (no Rio as instalações aplicam outro processo).

O Centro de Estudos de Solos do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da USP, em Piracicaba (SP), realizou este ano cerca de 30 análises do composto orgânico produzido na Usina de Vila Leopoldina em São Paulo: destacamos os teores médios de N (1,77%), P₂ O₅ (0,54%), K₂ O (1,07%) e Ph (8,3).

O composto orgânico na Usina de Vila Leopoldina é produzido em 62

dias (2 dias de processo e 60 dias de cura), a partir de 600 t/dia de lixo doméstico (catação mecânica e manual), que originam volumes de compostos da ordem de 300 a 360 toneladas diárias, vendidas para complemento da adubação química da agricultura.

O usuário faz o frete da instalação ao campo e paga os seguintes preços por tonelada (Suplemento Agrícola do Estado de São Paulo de 08/11/78):

- Composto curado de primeira Cr\$ 260,00/t
- Composto cru de primeira Cr\$ 130,00/t
- Composto cru de segunda Cr\$ 75,00/t

A SABESP e o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) culminam nos dias atuais, mais de cinco anos de pesquisa de uma aplicação útil do lodo das ERQS: trata-se de "Unidade Piloto para Disposição Final de Lodo" ora em construção no pátio da ERQ de Vila Leopoldina, e que deverá entrar em funcionamento no ano próximo.

A instalação visa produzir 500 kg/dia de agregado leve para concreto, através da sinterização do lodo digerido e desidratado nas centrifugas das ERQS de Pinheiros e de Vila Leopoldina. Trata-se de exemplo de pesquisa bem sucedida, visto já se tratar de um empreendimento em escala semi-industrial.

O autor propõe que sejam desenvolvidos ensaios de aplicação da pilha estática aerada, descrita no item 9.3, como um primeiro passo para a compostagem metódica de lodos de ERQS.

Dentre os três processos selecionados e descritos no item 9, a pilha estática aerada parece-nos ser a escolha mais adequada para uma primeira pesquisa aplicada, pelos motivos seguintes:

- Embora seu custo seja provavelmente superior ao do processo tradicional de compostagem por fileiras, o acompanhamento da operação, a qualidade do produto e a monitoragem efetiva do processo para achar os parâmetros operacionais ideais, serão sem dúvida mais simples e confiáveis na pilha estática, do que no processo dinâmico de revolvimento das fileiras.

- Quanto a diferença de custo, o único equipamento adicional requerido pela pilha estática, com relação às fileiras, é o compressor de 1/3 CV. Na realidade, como foi descrito no item 9, as necessidades de equipamento são mínimas e o único equipamento indispensável em ambos os casos é uma pá mecânica.

- Pelos custos reportados de 4 a 10 dólares/tonelada pelo composto

não ensacado e retirado na instalação pelo usuário, parece existir condições de venda, mesmo atualizando-se este valor de 1976 para os dias de hoje. Com efeito, o composto orgânico fabricado a partir do lixo domiciliar, é vendido em São Paulo por Cr\$ 260 00 por tonelada, retirado na Usina e ensacado, como supra mencionado.

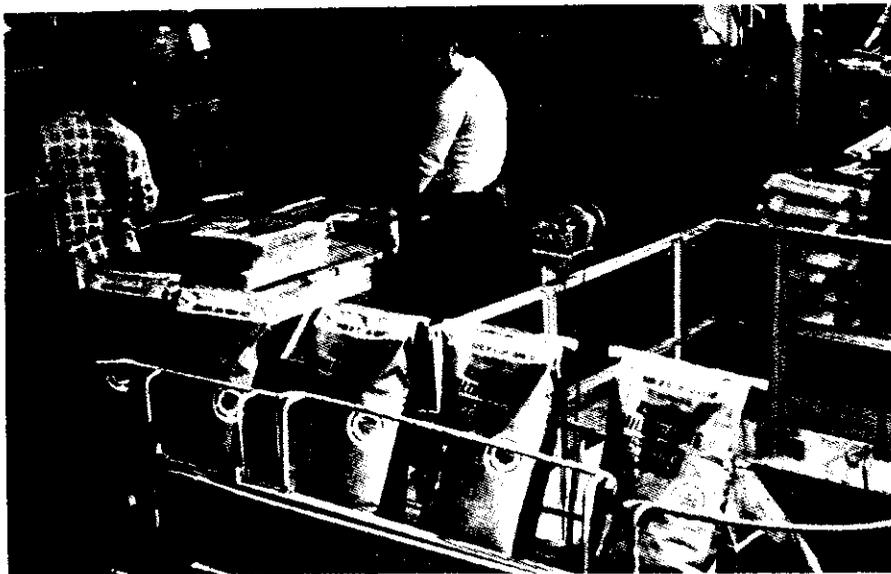
Vale ressaltar os altos custos de ensacagem nos Estados Unidos, que gravam fortemente a comercialização do produto quando ela é assim feita (ver item 9.1), o que, acreditamos, é um dos fatores que podem dar a impressão de que a compostagem é um processo caro.

- Qualquer programa de horizonte mais amplo do que a simples pesquisa piloto em escala de "laboratório", deve analisar criteriosamente a forma e os custos de transporte do produto ao campo, reconhecidamente um dos aspectos mais sérios para operações em larga escala.

- Tal aspecto será examinado em outra oportunidade, ao que esperamos, objetivando a atual apresentação do assunto, tão somente propor um aprofundamento dos estudos através da realização de pesquisas efetivas com o lodo atualmente gerado nas estações de tratamento já existentes e em particular nas que estão sob a responsabilidade da SABESP.

- 1 — WPCF - MOP/8 - Wastewater Treatment Plant Design - A Manual of Practice (June, 1977). Páginas: 451, 487, 488.
- 2 — EPSTEIN, E. - Proceedings: Seventh Annual Composting and Waste Recycling Conference - May 4, 5, 6, 1977 - Amherst, Massachusetts - "Sludge Composting Projects in U.S. Cities" - Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville, Maryland. Compost Science, Journal of Waste Recycling - 33 East Minor Street, Emmaus, Pennsylvania 18049 (Sept/Oct, 1977). Página: 5.
- 3 — MOORE, B. E. et al - "An Assessment of Potential Health Risks Associated With Land Disposal of Residual Sludges" (6).
- 4 — OLEXSEY, R. A. - "After Ocean Disposal, What?" - Water and Wastes Engineering (September, 1976). Página: 59 - Quadro.
- 5 — WPCF - Manual of Practice n.º 2 - Utilization of Municipal Wastewater Sludge (1971). Páginas: 2, 9, 12, 21, 24, 43, 25, 14 e 15.
- 6 — Notas e material de referência do curso "Water Pollution Control and Sewage Works Engineering" - professores da "Japan Sewage Works Agency" e do "Ministry of Construction" - Tokyo - Japão - Setembro a Dezembro de 1977.
- 7 — ESCRITT, L. B. - Sewerage and Sewage Disposal - Public Health Engineering Practice - Volume II - Mac Donald and Evans Ltd 8 John Street, London WC1N-2 HY - 4th edition. Páginas: 360, 361.

- 8 — STICKELBERGER, D. - "The Problem of the Fast and Slow Cycles of Fertilization" - Compost Science, Journal of Wastes Recycling (May/June, 1977). Página: 19.
- 9 — EPA 625/1-74-006 - Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal (October, 1974). Páginas: 9-5 a 9-13.
- 10 — COUTINHO, A. - "Estudo Sobre o Emprego de Fossas Sépticas" - Tese para concurso de livre docência apresentada a ENE-UB - Revista DAE n.º 90 (Junho, 1973).
- 11 — GARRIGAN A. GEORGE - "Land Application Guidelines for Sludges Contaminated With Toxic Elements" - Journal WPCF (December, 1977). Páginas: 2380, 2381.
- 12 — KELLING, K. A. et al - "Effect of Wastewater Sludge on Soil Moisture Relationships and Surface Run Off" - Journal WPCF (July, 1977). Página: 1698.
- 13 — EPA-670/2-75-049 - "Review of Landspreading of Liquid Municipal Sewage Sludge" (June, 1975). Páginas: 33, 48.
- 14 — AZEVEDO NETTO, J. M. - "Água de Irrigação - Qualidade e Aspectos Sanitários" - Revista Saneamento n.º 42 - Dezembro, 1971. Página: 29.
- 15 — MELO, J. A. S. - "Aplicação de Águas Residuárias no Solo como um Método de Trabalho, Disposição Final e Reciclagem das Águas Usadas" - IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - Apresentação CETESB (1977). Página: X-10.
- 16 — WATER AND WASTE TREATMENT (England) Janeiro, 1978.
- 17 — Anulado.
- 18 — Anulado.
- 19 — FAIR/GEYER/OKUN - Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal - Volume 2 - 1968. Páginas: 36-43.
- 20 — FILGUEIRA, A. R. F. - Manual de Olericultura, Cultura e Comercialização - Setembro, 1972 - Ed. Agronômica CERES.
- 21 — EPA-670/2-74-005 - "Facts and Effects of Trace Elements in Sewage Sludge When Applied to Agricultural Lands". Páginas: 28 a 72.
- 22 — KPELLER, R. et al - "Practices and Problems in Applying Sludge to Illinois Farmland" - Compost Science, Journal of Wastes Recycling - Jan/Feb, 1978. Página: 20.
- 23 — EPA 625/2-77-014 - "Static Pile Composting of Wastewater Sludge" - Capsule Report.
- 24 — HAUG, R. T. (Ph.D) and HAUG, L. A. - "Sludge Composting: A Discussion of Engineering Principles" - Compost Science, Journal of Waste Recycling, November-December, 1977. Páginas: 6, 7.
- 25 — BABBIT, H. E. - Sewerage and Sewage Treatment - 4th edition (1932). Página: 506.
- 26 — EPA-625/5-76-012 - Environmental Pollution Control Alternatives: Municipal Wastewaters. Página: 67.
- 27 — SCHWING, J. E. et al - "Recycle Sludge to Feed Farms" - Water and Wastes Engineering - September, 1974. Páginas: 26, 27.
- 28 — WALKER, J. M. - Science Advisor for Land Treatment Systems - Office of Research and Development, EPA, Chi-



Composto orgânico seco pelo calor, sacos de 25 kg, comercializado pela Milwaukee Sewerage Commission.

Análise típica destaca 6% de N, 4% de fosfato, 0,4% de óxido de potássio e 5% de umidade.



Referência 26, página 68.



Referência 26, página 67.

Chicago, Illinois 60604, "Wastewater Renovation and Sludge Utilization on Land Including Questions of Ownership" - Compost Science, Journal of Waste of Wastes Recycling - September/October, 1977.

Páginas: 14, 8, 9 e 15.

29 — SJOGREN, E. R. - "Application of Sewage Sludge to Garden Plots" - Compost Science, Journal of Wastes Recycling - September/October, 1977. Página: 26.

30 — BINGHAM, T. T. et al - "Growth and Accumulation of Plants Grown on a Soil Treated With a Cadmium - Enriched Sewage Sludge" - Journal of Environmental Quality, 4 (2): 207-211 (April-June, 1975) - quoted from "Abstracts" by Clarence G. Geolneck, Ph.D - Compost Science - Journal of Waste Recycling - March-April, 1977. Página: 5.

31 — GREIFER, L. - "Reuse, Energy, Sludge: In What Direction Are We Going?" - Water and Wastes Engineering - January, 1978. Página: 43.

32 — HEAMAN, J. D. - "Composting - An Approach to Using Sewage Waste" - Compost Science, Journal of Wastes Recycling - Jan/Feb, 1977. Páginas: 28 e 29.

33 — ETLICH, W. F. et al - "Is there a sludge market?" - Water and Wastes Engineering - Dec., 1976. Página: 41.

"Wastewater Sludge Composting: The Market", El Dorado Hills, California (ref. 6).

34 — SMITH, J. L. and HOUCK, C. P. - "Subsurface Injection Solves Sludge Problems" e "Subsurface Injection - How Much Does It Cost?" - Water and Wastes Engineering. Setembro 1976 e Janeiro 1977. Páginas: 46 e 35 respectivamente.

35 — INTERNATIONAL NEWS - "New Method Injects Sludge Into Soil" Water and Waste Treatment, England, January, 1978. Página: 17.

36 — EPSTEIN, E. et al - "A Forced Aeration System For Composting Wastewater Sludge" - Journal Water Pollution Control Federation - April 1976 página 688 e "Recent Advances in Compost Technology" U.S. Department of Agriculture of Beltsville - Maryland (ref. 6) e "Largest Advanced Treatment Plant in the U.S. and in the World" - E.S. and Technology.

12.1. MATÉRIA PUBLICADA EM "O ESTADO DE SÃO PAULO", 8 DE NOVEMBRO DE 1978, SUPLEMENTO AGRÍCOLA

COMPOSTO ORGÂNICO: PREÇOS REDUZIDOS

A Secretaria de Serviços e Obras, da Prefeitura do Município de São Paulo, comunica aos interessados que estão em vigor os novos preços do composto orgânico, material produzido em suas usinas de compostagem, e utilizado em larga escala em diversas lavouras, com comprovados benefícios para a agricultura, como complemento da adubação química.

Os preços, em vigor desde o dia 19 de agosto último, são os seguintes: 1) Tonelada de Composto Curado, de primeira - Cr\$ 260,00. 2) Tonelada de Composto Cru, de primeira - Cr\$ 130,00. 3) Tonelada de Composto Cru, de segunda - Cr\$ 75,00.

Os produtos poderão ser adquiridos e retirados nas próprias usinas de compostagem:

1) Usina de Vila Leopoldina - Telefone (011) 260-8257.

2) Usina de São Mateus (Itaqueira) - Telefone (011) 271-1713.

O atendimento ao público é de segunda a sábado, das 7 às 17 horas. O pagamento pode ser efetuado no próprio local de retirada ou no Departamento de Limpeza Urbana (Rua Caravelas, 178 - Vila Mariana, CEP 04012. Telefone (011) 70-9171.

12.2. MATÉRIA PUBLICADA NO "JORNAL DO BRASIL", EM 14 DE DEZEMBRO DE 1975

LODO DE ESGOTO É NOVAMENTE USADO PARA FERTILIZAÇÃO

O lodo dos esgotos do Rio será novamente usado como fertilizante, ajudando a financiar o sistema sanitário da cidade, informaram técnicos do Estado, no encontro sobre Produção, Tratamento e Disposição Final do Lodo dos Esgotos, acrescentando que o material já foi usado no arborização do Parque do Flamengo, após tratamento na estação da Penha.

As formas econômicas e técnicas do aproveitamento dos resíduos foram debatidas na reunião, como a presença de consultores da Organização Mundial de Saúde, como os engenheiros Joseph Malina Júnior (consultor internacional) e Eduardo Pacheco Jordão. Os efluentes são ricos em proteínas, e podem ser usados como ração animal, afirmaram os técnicos.

Chicago

As palestras foram realizadas na Sociedade dos Engenheiros e Arquitetos do Rio de Janeiro, do dia 8 a 12. Joseph Malina Júnior exibiu slides de uma estação de tratamento de Chicago, onde o lodo é seco em tanques e vendido como fertilizantes.

O técnico analisou os sistemas aeróbio e anaeróbio de secagem (em contato e sem contato com o oxigênio), custos operacionais das estações equipamentos e dissolução dos flutuantes.

Muito lodo

O lodo oriundo das estações de tratamento no Rio começa a preocupar os engenheiros sanitaristas do Esta-

do do Rio de Janeiro, e o problema atinge outras cidades, como Chicago, Los Angeles e Nova Iorque, nos Estados Unidos, Frankfurt e Colônia, na Alemanha, Manchester, na Inglaterra, ou Praga, Capital da Tcheco-Eslôvaquia.

Desde que as 14 estações do Rio, especialmente as maiores, na Ilha do Governador, Penha, Realengo e Acari, passaram a ter maior eficiência no tratamento dos esgotos — em torno de 90% — aumentaram os problemas do destino final do lodo, afirma o diretor da Divisão de Operações e Tratamento da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (Cedae), biólogo Evandro Rodrigues de Brito.

Em números aproximados, calcula que só estas quatro produzem hoje 200 metros cúbicos de lodo por dia: Estação da Penha, 80 m³; Acari, 54 m³; Realengo, 34 m³ e Ilha do Governador, cerca de 32 m³.

Enquanto não existem incineradores para reduzir a massa dos esgotos, nem meios para uma maior utilização do lodo como condicionador do solo na agricultura — o que já é feito principalmente na Europa e algumas regiões dos Estados Unidos — o material orgânico é lançado como aterro.

A Cedae deve assinar convênio com a Companhia Municipal de Limpeza Urbana, visando o destino final do lodo que as estações passarem a armazenar. Até agora, não se sabe se por falta de divulgação poucos particulares têm ido às estações de tratamento apanhar gratuitamente o lodo, já tratado biologicamente e seco, para adubar jardins.

Reutilização beneficia o solo

A reutilização do lodo produzido nas estações de tratamento de esgotos, em agricultura, como fertilizantes e condicionador do solo, é uma prática que pode ser simples e econômica, afirma o engenheiro Eduardo Pacheco Jordão, consultor da Organização Mundial de Saúde e assistente da Coordenação de Infra-estrutura Urbana da Superintendência de Desenvolvimento da Barra da Tijuca (Sudebar).

As raras experiências do tipo, no Brasil, são os projetos de Camaçari (perto de Salvador), Curitiba e Sobradinho, onde esgotos servem para irrigar arroz, através de digestores. O sanitarista disse que o lodo pode beneficiar o solo agrícola, além de contribuir na solução de um dos problemas mais sérios do tratamento de esgotos: o condicionamento e destino da matéria sólida.

Enriquecimento

Num trabalho sobre "Reuso do Lodo em Agricultura", apresentado no

seminário técnico sobre Produção, Tratamento e Disposição Final do Lodo dos Esgotos, o engenheiro Eduardo Pacheco Jordão disse que do ponto-de-vista de enriquecimento do solo o lodo típico dos esgotos domésticos apresenta uma relação de nitrogênio, fósforo e potássio insuficiente para o desenvolvimento agrícola, mas que sua contribuição em matéria orgânica geral é benéfica.

Ao citar o técnico Stelmach, destacou que a contribuição da matéria orgânica do lodo melhora o aspecto físico de friabilidade e porosidade, tornando o solo mais arável, aumentando a quantidade de minhocas que por sua vez aumentam a porosidade, a aeração e a percolação — que durante as chuvas mais fortes diminui a probabilidade de erosão e arraste superficial.

Enumerou como contribuição da matéria orgânica do lodo o aumento da capacidade de absorção da umidade, dando aos solos, melhor oportunidade de desenvolvimento, e a redução da necessidade do fertilizante químico em até 40%, principalmente do nitrogênio e fósforo, já que na terra rica em matéria orgânica a capacidade da água em arrastar aqueles contribuintes fica diminuída.

Ele não têm dúvidas sobre o benefício da adição de matéria orgânica ao solo agrícola. "Tem sido mesmo prática adotada no país, em sítios e fazendas, o uso de estrume de animais como condicionante de solo, naturalmente em escala reduzida, não comercial, mas com nítidos benefícios", explicou.

A razão NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) do lodo, no entanto, é insuficiente, o que não o torna um substituto completo do fertilizante comercial, mas um complemento econômico deste, lembrou o técnico.

Limitações

Com os benefícios, o engenheiro mostrou que há limitações quanto ao reuso do lodo na agricultura como nitrogênio em excesso e presença de metais ou organismos patogênicos.

— pensarmos no reuso do próprio esgoto para irrigação agrícola, por exemplo, há que acrescentar a concentração de sólidos totais dissolvidos, ou a salinidade, como outro fator limitante. Tratando-se de aplicação de lodo, normalmente esse fator não causa problemas.

Mostrou que a concentração destes sólidos traduz a disponibilidade da água para consumo pela planta (objetivos de irrigação), e disse que concentrações elevadas podem criar uma condição fisiológica típica de seca no solo, mesmo que a quantidade de líquido aplicado seja aparentemente satisfatória.