

PROPOSIÇÃO DE PLANO DE MONITORAMENTO DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

Cleverson Vitório Andreoli⁽¹⁾

Eng. Agrônomo, MSc Solos e doutorando em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR), professor da UFPR e Eng. de Desenvolvimento da SANEPAR. Coordenador Técnico do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto do Paraná.

Bárbara Rocha Pinto Bonnet

Bióloga, especialista em Análise Ambiental, Pesquisadora Bolsista do Programa RHAE junto a SANEPAR.

Aderlene Inês Lara

Bióloga, MSc Zoologia, Pesquisadora Bolsista do Programa RHAE junto a SANEPAR.

Fernando Rauen Wolter

Eng. Agrônomo, cursando especialização em Geoprocessamento e Pesquisador Bolsista do CNPq junto a SANEPAR.



Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Curitiba - PR - CEP: 80215-900 - Brasil -
Tel: (041) 330-3636 r:3242 - Fax: (041) 225-7878 - c.andreoli@sanepar.pr.gov.br.

RESUMO

A disposição agrícola do lodo está entre as alternativas mais econômicas e atualmente é objeto de avaliação técnico-científica visando sua aplicação em escala real no Estado do Paraná. A aplicação de lodo de esgoto determina impactos ambientais positivos no solo, mas por outro lado, envolve alguns efeitos ambientais potenciais. Para a minimização destes impactos potenciais têm sido utilizados no Paraná, para as aplicações em escala piloto, lodos bem estabilizados e calados a 50% de seu peso seco e uma linha de pesquisa em compostagem de lodo está em desenvolvimento. O objetivo deste trabalho compreende, com base nos impactos potenciais da prática utilizáveis como indicadores ambientais, apresentar uma proposição preliminar de um plano de monitoramento do uso do lodo de esgoto na agricultura, garantindo o uso do produto em condições seguras quanto aos aspectos ambientais, de sanidade e de potencial agrônomo para as áreas de aplicação. São definidos os parâmetros de monitoramento para o lodo, solo, áreas de aplicação e produtos bem como, apresentada uma abordagem do uso do geoprocessamento no processo de monitoramento, realizada em escala piloto no Paraná.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de Esgoto, Monitoramento, Impactos Ambientais.

INTRODUÇÃO

A busca de alternativas viáveis para a disposição final do lodo de esgoto enquadra-se na preocupação mundial referente a gestão adequada de resíduos. Para a destinação final dos lodos de esgoto, é necessária a definição e implementação em curto prazo de soluções definitivas para o problema e dentro deste quadro coloca-se a necessidade de elaboração de formas de inferência dos impactos potenciais relacionados a cada prática de disposição adotada. A definição de um sistema de tratamento e disposição final do lodo deve ser parte do planejamento e projeto de uma unidade de tratamento de esgotos (USEPA, 1979).

Ao analisar as formas atualmente conhecidas para a disposição final do lodo de esgoto, uma consultoria francesa estabelecida pela SANEPAR através de Convênio de Cooperação Técnica junto a Associação Brasileira de Cooperação definiu a utilização do lodo na agricultura como a mais promissora das alternativas, sendo particularmente interessante a um Estado como o Paraná, de agricultura intensiva e com extensas áreas de solos depauperados com níveis mínimos de matéria orgânica (SANEPAR, 1994).

A reciclagem agrícola é a disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas, após tratamento adequado do produto e sua mistura a outros materiais como cal, materiais carbonáceos ou fertilizantes minerais. É a alternativa de disposição final de menores impactos ambientais negativos e tem sido praticada em muitos países desenvolvidos como solução mais adequada à destinação do produto.

A reciclagem agrícola segura do lodo de esgoto pressupõe o conhecimento do impacto causado no meio biótico e abiótico pela utilização do produto, o desenvolvimento de tecnologias que permitam o processamento e controle da qualidade do lodo, formas de comercialização e distribuição e a inserção do produto nos sistemas agrícolas adequados a seu uso. Realizada de forma segura e acompanhada por um programa de monitoramento, a valorização agrícola do lodo de esgoto minimiza uma das preocupações das companhias de saneamento quanto a disposição deste resíduo, além de tratar-se de um valioso insumo para a agricultura melhorando a produção agrícola e as propriedades do solo.

O desenvolvimento de uma proposta de plano de monitoramento vem de encontro as perspectivas atuais que mostram a terceirização como uma excelente opção sempre que ela se mostrar mais eficaz e econômica que os serviços prestados pelo Estado. Assim, o Plano de Monitoramento para a Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto é um instrumento estratégico capaz de avaliar a qualidade e o desempenho do processo com informações que permitam ao Estado delegar serviços, porém definir critérios, manter o controle e avaliar constantemente os serviços prestados. O Plano de Monitoramento ora proposto foi estruturado a partir das observações e análises do processo de valorização agrícola do lodo e baseado na primeira aproximação de plano de monitoramento para os impactos ambientais realizado por BONETT (1995).

CARACTERIZAÇÃO E INTERESSE AGRONÔMICO DO LODO DE ESGOTO

O Estado do Paraná produz lodo de esgoto do tipo anaeróbio, proveniente de reator anaeróbio de lodo fluidizado - RALF, e lodo aeróbio resultante do processo de aeração prolongada da ETE-Belém em Curitiba. Atualmente são cerca de 200 estações tipo RALF implantadas que a intervalos de 4 a 5 meses realizam descarga em bateladas do lodo produzido. Estima-se que os RALFs contribuam para uma produção diária de lodo de 8 toneladas, a base de peso seco. Já a estação ETE-Belém, onde o lodo é retirado continuamente, contribui com cerca de 10 toneladas de lodo/dia (base seca). Com isto tem-se que atualmente o Estado produz aproximadamente 54 t/mês de lodo de esgoto.

A composição do lodo de RALF pode apresentar grandes variações em função da periodicidade de descarga. É um lodo mais mineralizado, com menor conteúdo de matéria orgânica e nutrientes e de umidade variável. O lodo aeróbio, apresenta composição mais uniforme (tabela 1). De modo geral o lodo de esgoto tem grande interesse agrícola em função de seu conteúdo em nutrientes minerais, principalmente nitrogênio, fósforo e micronutrientes, mas especialmente pelo seu teor de matéria orgânica.

Tabela 1: Composição média dos lodos do Estado do Paraná. (% relação peso seco).

LODO	N total	P ₂ O ₅ total	K ₂ O	Ca	Mg	pH	M.O.	C	C/N
aeróbio	4.91	3.70	0.36	1.59	0.60	5.9	69.4	32.1	6
anaeróbio	2.22	0.95	0.34	0.83	0.30	6.1	36.2	20.1	9

Fonte: SANEPAR, 1997

Em relação aos metais pesados, o Estado apresenta comumente baixos teores destes elementos (tabela 2) cuja origem está associada aos rejeitos domésticos e águas pluviais. Os efluentes industriais, em função de uma política adotada pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, são tratados antes de seu lançamento na rede coletora e a SANEPAR tem políticas restritivas em relação ao recebimento de esgoto industrial na rede coletora.

Tabela 2: Média dos teores de metais pesados em lodo da ETE Belém e em RALF (mg/kg em relação ao peso seco).

LODO	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
aeróbio	n.d	439	178	1.0	73	123	824
anaeróbio	n.d	89	58	0.5	40	64	456

Fonte: SANEPAR, 1997 (n.d. = não detectado)

A presença de microorganismos patogênicos no lodo é um reflexo direto do perfil de saúde da população contribuinte do sistema. A eliminação deste patógenos do esgoto é um dos objetivos básicos de um sistema de tratamento. Na tabela 3 são apresentados as concentrações de patógenos em lodo aeróbio de Curitiba. Dentre os patógenos mais resistentes ao tratamento encontram-se os helmintos, merecendo especial atenção no Estado a *Taenia solium* causadora da neurocisticercose, doença comum principalmente no interior do Paraná e motivo de programas especiais da Secretaria de Estado da Saúde.

Tabela 3: Concentração média (17 amostras) de patógenos

Patógenos	Concentração em lodo bruto (por 100 gr de peso seco do lodo)
coliforme total	7,54 . 10 ⁸
coliforme fecal	86,40 . 10 ⁶

salmonela (presença nas amostras %)	17%
estreptococos	$36,7 \cdot 10^6$
ovos de helmintos	429
larvas de helmintos	207
cistos de protozoários	2,4

Fonte: SANEPAR (1997)

Quanto ao potencial agrônômico, a EMATER-PR, em testes controlados em pequenas propriedades rurais da Região Metropolitana de Curitiba, demonstrou que as áreas onde foi incorporado lodo acusaram aumentos de produção para o milho entre 30 e 77% (SANEPAR, 1997). Do ponto de vista financeiro BISCAIA & MIRANDA (1996) relatam que o retorno por R\$ (real) gasto com o lodo pode chegar a ser quatro vezes maior do que o dinheiro gasto com adubo químico.

A HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA

Para que a reciclagem agrícola seja feita de forma segura, o lodo deve passar por processo que reduzam significativamente o teor de microorganismos patogênicos. As condições de estabilização, desidratação e desinfecção do lodo para fins agrícolas adotado pelo Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo, conduzido pela SANEPAR, são atingidas através da:

Compostagem

Em experimento realizado junto a ETE Belém, FERNANDES *et alli* (1996), observaram a reduções percentuais médias de 85,5% para ovos de helmintos, 83,25 para larvas de helmintos, 72,3% para coliformes totais, 99,74% para coliformes fecais e 83,31% para estreptococos fecais. A eficiência da compostagem na eliminação de patógenos está diretamente relacionada com a duração da fase termófila e com a tecnologia de compostagem empregada. Como a validação da compostagem como tecnologia de higienização depende de uma série de controles, esta alternativa continua em estudo, mas com grande perspectiva de aplicação.

Calagem

É um método de estabilização e desinfecção química e térmica pela adição e mistura ao lodo de cal para alcalinização brusca do meio, elevando o pH a níveis ligeiramente superiores a 12 o que inativa ou destrói a maior parte dos patógenos presentes no lodo, e aumento da temperatura em função das reações químicas a cerca de 60^o C durante o choque alcalino. A calagem contribui para a desidratação do lodo e é tido como alternativa simples e de custo relativamente baixo, além de atuar na estabilização química do lodo reduzindo o problema do odor. A eficiência do tratamento na eliminação de patógenos foi observada em análises de lodo calado a 50% da ETE Belém, apresentando redução de 100% de coliformes fecais, salmonela, estreptococos, cistos de protozoários e larvas de helmintos; de 99,5% para coliforme total e 77,3% para ovos de helmintos.

ÁREAS APTAS PARA USO DO LODO E CULTURAS RECOMENDADAS

Mesmo com o tratamento para a higienização do lodo foram definidos os critérios para a escolha das áreas aptas ao recebimento do lodo para reduzir a possibilidade de riscos associados ao uso agrícola do lodo e propiciar uma melhor resposta agrícola.

As pesquisas conduzidas pelo Programa de Reciclagem Agrícola levaram a elaboração de uma metodologia de classificação do potencial dos solos para a aplicação do lodo (SOUZA *et alli*, 1994) seguindo o método “Sistema de capacidade de uso” para classificação de terras adaptado de Lepsch (1983). Assim, para a seleção de áreas são considerados os aspectos de: *proximidade de residências*: distância mínima de 200 metros de residências; *declividade*: área plana ou ter até 3% de declividade; *profundidade do solo*: distância mínima de 1,5 m entre a superfície e a rocha intemperizada; *lençol freático*: a uma profundidade mínima de 1,5 metros; *textura do solo*: entre 35 e 60% de argila; *acidez do solo*: pH entre 6,0 e 6,5 há uma redução na absorção de metais pesados pelas plantas. Em solos ácidos deve ser feita a calagem de acordo com a recomendação agrônômica, antes da incorporação do lodo; *capacidade de troca catiônica*: solos com maior CTC tem mais capacidade de imobilizar metais pesados, suportando doses maiores de lodo com maior segurança; *proximidade de corpos d’água*: distância de pelo menos 100 metros entre a área de aplicação do lodo e corpos d’água.

Em função dos cuidados associados ao risco de contaminação por patógenos adotou-se como medida de precaução, no Estado, a não aplicação do lodo para os produtos consumidos crus que tenham contato direto com o lodo. Assim algumas culturas são as mais indicadas ao uso do lodo por tirarem melhor proveito do teor e liberação lenta do nitrogênio do lodo, como as gramíneas principalmente as de grande cultura como milho, trigo, sorgo, cana-de-açúcar, dentre outras. Além de responderem prontamente a aplicação do lodo por absorverem diretamente o nitrogênio captado pelas raízes, seu controle fitossanitário e colheita são realizados mecanicamente, sendo o produto final normalmente industrializado o que reduz a quase zero o risco de qualquer tipo de contaminação.

POTENCIAIS IMPACTOS POSITIVOS DO USO AGRÍCOLA DO LODO

- a) *Reciclagem de Resíduo*: a disposição final do lodo de esgoto higienizado na agricultura, é uma prática adequada de reciclagem para este resíduo em comparação as demais formas de disposição final, as quais incluem a disposição oceânica e em rios.
- b) *Ação benéfica nas propriedades físicas do solo*: a matéria orgânica do lodo favorece a formação de agregados facilitando a penetração das raízes e a vida microbiana. Atua também junto a resistência do solo à erosão por estabilizar a estrutura do solo e aumenta a capacidade de retenção de água do solo, tornando as culturas mais resistentes à seca.
- c) *Ação benéfica nas propriedades físico-químicas do solo*: os colóides húmicos aumentam a capacidade do solo em reter nutrientes minerais. A matéria orgânica do lodo fornece nutrientes para a planta e para os organismos do solo após a mineralização.
- d) *Ação benéfica nas propriedades biológicas do solo*: a matéria orgânica é suporte e fonte de alimento para a flora e fauna edáfica, cuja atividade influi diretamente na nutrição das plantas.

e) *Ação de condicionador do solo*: pelo exposto nos itens anteriores, o teor de matéria orgânica do lodo atua como condicionador do solo melhorando suas características físicas, químicas e biológicas.

f) *Ação benéfica no aumento da produtividade agrícola*: a disponibilização de matéria orgânica e nutrientes, age de forma positiva sobre a produtividade das culturas ocorrendo aumentos significativos principalmente para gramíneas (milho) e leguminosas (feijão). Respeitados os níveis de dosagem de nutrientes em faixas não depressivas a cada época de desenvolvimento e a cada cultura, a disponibilização de NPK e Ca + Mg reflete diretamente na produtividade de uma área agrícola.

g) *Benefícios econômicos*: referem-se ao aumento da produtividade e, em consequência, um aumento proporcional nos lucros obtidos com a venda do produto.

POTENCIAIS IMPACTOS NEGATIVOS DO USO AGRÍCOLA DO LODO

a) *Contaminação por patógenos*: patógenos presentes nos lodos podem, de princípio ser transmitidos ao solo, corpos d'água e a produtos produzidos. O tratamento com cal elimina com segurança a maioria dos microorganismos patogênicos. Em função de sua resistência a calagem e alta frequência nos lodos do Estado, especial atenção deverá ser dada aos helmintos.

b) *Contaminação por metais pesados*: a absorção inadequada de oligoelementos e de metais pesados pelo solo e plantas é o maior problema associado à prática de reciclagem agrícola de lodos. Considerando-se que os solos já contêm metais pesados em função de sua formação geológica ou pelo aporte de insumos químicos, pesticidas e poluição atmosférica e hídrica, deve ser considerado o efeito cumulativo dos metais no solo com a aplicação de lodo. Vale lembrar que o lodo produzido no Paraná apresenta teores baixos de metais pesados, abaixo de muitos níveis admissíveis para países desenvolvidos.

c) *Atração de insetos vetores e Emissão de odores*: a frequência de insetos a locais de aplicação de lodo e odores desagradáveis podem ocorrer quando o lodo não está bem estabilizado. Dentre os insetos que visitam lodos aplicados à superfície de áreas de aplicação, merecem maior atenção os dípteros vetores de doenças. A alteração operacional da ETE Belém, aumentando o tempo de residência dos esgotos nos tanques de aeração, contribuiu para o equacionamento dos problemas. Some-se o fato da calagem atuar na estabilização química do lodo, minimizando estes impactos.

d) *Impactos estéticos e sociais sobre a população*: os aspectos sociais centram-se em aspectos de normatização e legislação, saúde pública e incômodos estéticos eventualmente decorrentes da aplicação do lodo. Pode ocorrer a resistência do agricultor em aceitar o insumo e a preocupação com a possível desvalorização de sua propriedade e de seus produtos com a aplicação do lodo, ou o receio de uso em função de patógenos e aspectos da saúde ocupacional e sensação subjetiva de repulsa em relação aos lodos em função de sua origem. Em relação à sociedade de maneira geral, pode ocorrer a não aceitação dos produtos produzidos com o uso do lodo na agricultura.

PLANO DE MONITORAMENTO DOS IMPACTOS

Bases para o Monitoramento.

Para a segura reciclagem agrícola do lodo de esgoto e desenvolvimento de um eficiente plano de monitoramento dos impactos deverão ser mantidos e considerados os seguintes aspectos, os quais são de ação integrada:

a) Controle da liberação do lodo.

- calagem do lodo a 50% do peso seco.
- estocagem na estação de tratamento, em lotes de 600 toneladas (média da produção quinzenal da ETE Belém), por um período mínimo de 30 a 60 dias. Para os RALFs os lotes serão formados pela descarga a intervalos de três a seis meses, conforme o padrão operacional da estação.
- caracterização do lodo (valor agrônômico, metais pesados e patógenos).

b) Seleção das áreas de aplicação.

- verificação da aptidão da área segundo SOUZA *et alli* (1994).
- caracterização do solo (propriedades físico-químicas e teor de metais pesados).
- cadastro da área e registro das informações para a formação do banco de dados de monitoramento e mapeamento da propriedade com a plotação das áreas de aplicação.

c) Cumprimento de critérios básicos.

O encarregado do plano de valorização do lodo de esgoto deverá:

- manter banco de dados com a informação de cada propriedade e de cada aporte de lodo.
- orientar o agricultor sobre o manejo do lodo, benefícios e processo de monitoramento.
- dispor de engenheiro agrônomo para acompanhar o processo.
- seguir as deliberações contidas em Norma Técnica para a valorização agrícola do lodo, o presente plano de monitoramento, as recomendações contidas em Manual Técnico (SANEPAR, 1997) e demais instruções complementares a serem definidas em Termo de Referência específico (no caso de terceirização), bem como incorporar as novas informações obtidas com as pesquisas.
- manter relatórios de acompanhamento das atividades e informes periódicos aos órgãos estaduais de meio ambiente, saúde e agricultura.

Com a integração destes aspectos, serão formados três níveis de monitoramento: um junto a SANEPAR, através do monitoramento do lodo na estação de tratamento; outro junto a empresa responsável pela valorização do lodo, que fará o acompanhamento das áreas de aplicação, culturas, produtos e reaplicações de lodo; e por fim os órgãos estaduais que validarão o processo o que repercutirá em uma maior aceitação do lodo pelos agricultores e dos produtos produzidos por parte da comunidade em geral.

Parâmetros de Monitoramento

a) *parâmetros agronômicos para o lodo e para o solo das áreas de aplicação*: pH, umidade, cinzas, nitrogênio total, P_2O_5 total, K_2O , Ca, Mg, matéria orgânica total, carbono total, relação C/N.

b) *parâmetros sanitários para lodo*: coliformes fecais, estreptococos fecais e ovos de helmintos e *Salmonella* spp.. Para a adequação do lodo às aplicações agrícolas, são propostas classes para o lodo higienizado, com aplicações diferentes, em função de suas características sanitárias (tabela 4).

Tabela 4: Classes de lodo em função de parâmetros sanitários

	LODO CLASSE A	LODO CLASSE B
Indicação	milho, feijão, soja e similares (culturas mecanizadas e sem contato primário)	espécies florestais e frutíferas, estas em sistemas de cova
Parasitologia	até 50 ovos / 100 g de lodo seco	até 200 ovos / 100 g de lodo seco
Salmonella	ausência de <i>Salmonella</i> spp	ausência de <i>Salmonella</i> spp
Estreptococos fecais	< 103 bactérias / 100 g de lodo seco	< 10 ⁶ bactérias / 100 g de lodo seco
Coliformes fecais	< 103 bactérias / 100g de lodo seco.	< 10 ⁶ bactérias / 100 g de lodo seco

c) *metais pesados do lodo e do solo das áreas de aplicação*: Cr, Zn, Pb, Ni, Cu, Hg e Cd. São adotados os limites de metais pesados preconizados por diretrizes da Espanha (tabela 5), baseada nas regulamentações da CCE, até que os limites definitivos sejam estabelecidos através do avanço das pesquisas para a realidade do Estado.

Tabela 5: Concentração máxima de metais pesados admissíveis no solo e no lodo (mg/kg) para a reciclagem agrícola.

ELEMENTO (mg/kg)	VALORES LIMITES NOS SOLOS		VALORES LIMITES NOS LODOS	
	pH <7	pH >7	pH <7	pH >7
Cd	1	3	20	40
Cu	50	210	1000	1750
Ni	30	112	300	400
Pb	50	300	750	1200
Zn	150	450	2500	4000
Hg	1	1.5	16	25
Cr	100	150	1000	1500

d) *atração de insetos* : registro de presença / ausência de dípteros junto ao lodo estocado na estação de tratamento e nas áreas de aplicação.

e) *produtividade das áreas de aplicação*.

f) *acumulação de metais pesados e sobrevivência de patógenos no solo e nos produtos*.

g) *impactos estéticos e sociais da reciclagem sobre a população*.

Monitoramento do Lodo

Na estação de tratamento deverão ser coletadas amostras compostas de cada lote de lodo para a caracterização do material, até duas semanas antes da colocação do lodo no campo por razões de evolução da composição durante a estocagem. Deverão ser analisados os parâmetros agrônômicos, sanitários e teor de metais pesados, determinando-se a viabilidade do lodo para aplicação na agricultura e mantendo-se o registro dos dados de adição de nutrientes e metais pesados nas áreas de aplicação. Lodo com teores de metais pesados e patógenos acima do estabelecido será inviabilizado para o uso agrícola.

Por razões de sensibilidade à calagem, não parece ser necessário fazer a análise de *Salmonella* rotineiramente. Recomenda-se que durante o primeiro ano de aplicação deste plano sejam realizadas as análises para certificar a ausência do microorganismo. A análise de ovos de

helminthos, em especial *Taenia solium* e *Ascaris* spp., deve ser tratada em termos de viabilidade destes ovos em função de sua periculosidade e resistência ao tratamento com cal.

A presença / ausência de dípteros vetores deve ser acompanhada. Verificando-se a presença constante e em grandes quantidades de insetos junto ao lodo higienizado e estocado pode-se inferir sobre irregularidades na operação do sistema de tratamento de esgoto. A aplicação de lodo com incidência de larvas de insetos pode causar problemas junto aos produtores, no que se refere a presença dos insetos, odores indesejáveis, repulsa ao produto além de contribuir para o aumento da probabilidade de ocorrência de doenças transmissíveis por estes animais.

Monitoramento das áreas de aplicação

Para cada Área de Aplicação

Após a verificação da aptidão da área ao recebimento de lodo de esgoto, cadastramento da propriedade e localização em mapa das áreas de aplicação, deve ser realizada a análise de solo para a determinação dos parâmetros agrônômicos. Para isso a área deve ser dividida em parcelas uniformes, com 5 a 10 ha, quanto ao tipo de solo, topografia, aspecto de vegetação, adubação, calagem e culturas anteriores. De cada área são retiradas 20 subamostras de meio quilo aproximadamente. Esta análise tem por objetivo a definição da fertilidade original da área, recomendação de dosagem de lodo para a cultura em vista e a definição de adubação mineral complementar.

Os experimentos conduzidos até o momento mostraram que uma dose de lodo entre três e seis toneladas, em base seca, parece ser a mais interessante para atender, principalmente a necessidade de disponibilização para as plantas de nitrogênio, fósforo e potássio. Tomando por base uma aplicação de 6 t/ha de lodo (base seca), estarão sendo incorporadas ao solo as quantidades de N, P e K demonstradas na tabela 6. Estima-se que 50% de N e P e, 100% de K estejam disponíveis às plantas no primeiro ano de aplicação. A complementação em fertilizante mineral deve ser recomendada para suplementar as exigências da planta em NPK, a cada cultivo.

Tabela 6: Quantidade de nutrientes (kg), incorporados ao solo por uma aplicação de lodo de 6 t/ha em base seca.

LODO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
aeróbio	176.4	132.0	12.6
anaeróbio	88.8	26.4	13.2

Fonte :SANEPAR (1997)

O lodo deve ser utilizado em solos corrigidos, de acordo com recomendações agrônômicas. O pH do solo é fator primário determinante da dinâmica de metais pesados no solo e sua absorção pelas plantas. Em níveis < 5,5 prejudica o desenvolvimento das plantas. Elevando-se o pH do solo, além de ter reflexos sobre a fertilidade do solo, melhora a resposta das plantas à incorporação do lodo, pois a atividade microbológica no solo é estimulada facilitando a biodegradação. Assim, os solos devem ser monitorados rotineiramente para estes parâmetros buscando-se a manutenção de um pH ? 6,5.

A análise dos parâmetros agrônômicos deverá ocorrer após cada colheita, anteriormente a uma nova aplicação de lodo, devendo ser procedida a adubação mineral complementar em função a cultura em vista. Com o monitoramento do solo, após as aplicações de lodo e colheita serão avaliadas a eficiência do tratamento e sugeridas as adequações nas dosagens de fertilizante mineral e lodo a ser aplicado posteriormente. Todos os dados serão anexadas às informações cadastrais da propriedade. Nas áreas de aplicação deverão ser observadas a presença/ausência de insetos atraídos pelo odor do lodo, podendo-se inferir sobre o padrão de qualidade da operação de tratamento e higienização do lodo.

Para cada 100 ha em Áreas de Aplicação

Considerando-se o material de origem geológica, a cada 100 hectares de áreas aptas à aplicação de lodo, será realizada uma análise de solo, através de amostragem composta, do teor de metais pesados originais. A cada aporte de lodo são incorporados ao banco de dados as informações sobre o teor de metais pesados. O monitoramento deverá prever uma análise anual do teor de metais pesados presentes no solo a cada 100 ha de área com lodo incorporado. A análise deverá ser realizada em uma parcela de 10 hectares escolhida aleatoriamente. Assim, num período de 10 anos, serão analisados as 10 parcelas formadoras do conjunto de 100 ha utilizadas para a valorização agrícola do lodo de esgoto. Um vez atingido o teor máximo permissível para qualquer um dos elementos, a área em questão será excluída do processo de aplicação de lodo em caráter definitivo.

Em relação aos patógenos, os riscos de contaminação devem ser minimizados por precauções de manipulação e obediência as limitações de locais de aplicação e culturas indicadas. SOCCOL *et alli* (1997) relatam que em solos com lodo, há o desaparecimento de helmintos após 10 meses de incorporação. Assim, recomenda-se a análise anual quanto a presença de helmintos em solo com lodo incorporado, a qual poderá ser realizada na mesma parcela de 10 ha selecionada para o monitoramento de metais pesados.

A cada 100 hectares de aplicação de lodo deverão ser montadas três parcelas de 20 m², escolhidas ao acaso, para a determinação da produtividade. Nestas parcelas não será aplicado o lodo de esgoto, procedendo-se apenas o preparo normal em relação aos aspectos de manejo agrícola. A colheita deverá ser realizada separadamente, mensurando-se em termos de produtos produzidos (P0), e comparando com a produção proporcional da área (PL) a qual foi aplicado o lodo.

Os impactos estéticos e sociais da aplicação do lodo de esgoto na agricultura deverão ser avaliados através de questionários, entrevistas e eventos pontuais que possam traçar o perfil de aceitação do insumo e dos produtos produzidos com sua utilização. Reuniões com os produtores rurais, com a exposição do produto, sua correlação com a aplicação de resíduos animais (esterco), benefícios na produtividade e cuidados a serem tomados com a aplicação é uma boa estratégia de convencimento do produtor rural. Estas atividades podem ainda colocar a reciclagem agrícola como fator de envolvimento do produtor no sentido de conservar as propriedades de fertilidade da terra - uma vez que a prática exige controle estrito e orientação

técnica constante, poderão estar em verdade sendo criadas condições a que práticas de conservação de solos associadas ao uso de lodo atinjam mais produtores rurais.

Os impactos sociais decorrentes do uso de lodos de esgoto no solo são de difícil mensuração e por outro lado são indicadores fundamentais em um plano de monitoramento. Os impactos positivos advindos do uso de lodo são o incremento da produção agrícola e a conscientização do produtor rural no sentido de práticas de melhoria das condições do solo de sua propriedade e a manutenção de sua produtividade de forma permanente, com conseqüente aumento da qualidade de vida do produtor rural e o auxílio a sua fixação no campo. Os impactos negativos possíveis podem ser controlados na fase de tratamento do lodo, higienização e pelo monitoramento dos impactos. Assim, estratégias de marketing e a educação ambiental devem ser combinadas para a introdução e manutenção do insumo junto aos produtores e para a garantia de sua aceitação.

Monitoramento dos Produtos

Embora cercado de controle e rigor quanto aos critérios de utilização do lodo na agricultura, durante os primeiros anos de sua aplicação deverão ser conduzidos estudos para monitorar os produtos produzidos através da reciclagem agrícola do lodo. Deverão ser tomadas amostras a cada tonelada de produto produzido, formando-se uma amostra composta do total colhido por área de aplicação, para análise de teor de metais pesados e patógenos. Tal mensuração tem a intenção social de propiciar segurança e manter a confiança do produtor rural e consumidores sobre o produto. Este monitoramento deverá ser encerrado quando após, uma série de exames se confirmar que os critérios adotados garantem a confiabilidade no insumo utilizado.

Acompanhamento e Aperfeiçoamento

A empresa responsável pela valorização agrícola do lodo deverá manter o cadastro das propriedades e demais informações sobre cada aporte de lodo a fim de subsidiar a montagem de um banco de dados sobre o processo. Este banco de dados servirá para a alimentação de um sistema geográfico de informações visando a facilitação do acompanhamento espacial e temporal do programa de reciclagem agrícola do lodo. Estas informações deverão ser repassadas aos produtores, como forma de manutenção da confiança no insumo utilizado, e aos órgãos estaduais de meio ambiente, saúde e agricultura para o devido acompanhamento e avaliação dos procedimentos adotados.

Todas as propriedades que receberem lodo deverão ser mapeadas apresentando a localização das áreas de aplicação. Ao conjunto de propriedades deverá ser elaborado um Plano Estratégico de Reciclagem indicando as áreas de aplicação, culturas envolvidas, disponibilidade de lodo junto a estação e perspectiva de utilização ao longo do tempo procurando orientar a distribuição do produto em função da disponibilidade de lodo e receptividade dos produtores.

Experimentos e ensaios agronômicos podem ser conduzidos para a análise de densidade do solo, incremento da biomassa e respiração edáfica, incremento de carbono orgânico, CTC do solo, dentre outras, utilizando-se as áreas com lodo incorporado em comparação a parcelas testemunha (sem aplicação de lodo). O resultado destas pesquisas, além de testar a eficiência

do lodo na agricultura, poderá aperfeiçoar os critérios utilizados visando o uso mais econômico do produto e fornecer outros indicadores a serem monitorados ampliando as avaliações, controle e a confiabilidade da população e dos órgãos ambientais nesta alternativa de disposição final de resíduos.

O GEOPROCESSAMENTO E O MONITORAMENTO

A abordagem apresentada refere-se as atividades em andamento utilizando-se de dados obtidos junto ao Programa Piloto de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto, desenvolvido pela EMATER-PR junto a SANEPAR.

O ponto de partida para a realização do projeto, foi a digitalização de 21 cartas planialtimétricas na escala 1:20.000, contendo a separação das áreas segundo sistema de classificação da aptidão das terras ao recebimento de lodo proposto por SOUZA *et al.* (1994) e limites de distância de corpos d'água e concentrações humanas, segundo o proposto por EPS (1984) e ALBERTA ENVIRONMENT (1982). Os dados foram inseridos em software de GIS "ARC-INFO" sendo geradas as relações de topologia e identificação de cada polígono individualmente segundo sua classe de aptidão. A divisão das áreas em classes permite a melhor disposição final do material levando em consideração parâmetros seguros. A transformação destes dados de meio analógico para formato digital, permite a obtenção de vários subprodutos importantes para a pesquisa. Dentre eles, a separação das diferentes classes gerando novas cartas de aptidão, podem gerar produtos como cartas de áreas estritamente inaptas para o recebimento de lodo ou áreas com alto potencial de recebimento ou mesmo a conjugação de diversas classes segundo a necessidade do interessado. Convém ressaltar que todas estas novas cartas se encontram georreferenciadas e podem fornecer de forma muito simples e precisa as áreas, em metros quadrados ou hectares, individuais ou coletivas das classes em questão, agilizando grandemente o levantamento do total de lodo possível de ser reciclado, ou de áreas aptas para este fim.

Após este procedimento foi realizado, em conjunto com a EMATER, o levantamento dos produtores interessados na utilização do lodo em suas propriedades. O levantamento da posição cartográfica das propriedades foi realizado com GPS (Global Positional System), utilizando coordenadas geográficas. Foram levantados dados da propriedade como análise físico-química das áreas incluídas, dados de culturas anteriores e produtividades alcançadas. Os dados de análises físico-químicas, patógenos e metais pesados do lodo de esgoto também foram levantados e adicionados ao sistema. A finalidade do sistema é ter um controle da evolução dos níveis de metais pesados, elementos químicos, patógenos, tanto no solo como nos produtos produzidos assim como nos produtores envolvidos no projeto ao longo do tempo. Todos os dados farão parte de um banco de dados relacional e os níveis de metais pesados no solo serão monitorados de forma que se tenha uma somatória de seus níveis pelo acréscimo de lodo.

Admitindo-se que a SANEPAR adota padrões de controle rígidos quanto ao teor de metais pesados no lodo de esgoto, este controle fará com que as áreas participantes do projeto fiquem protegidas de um aporte excessivo de metais pesados que possam prejudicar o homem, as colheitas ou o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBERTA ENVIRONMENT. Guidelines for the application of municipal wastewater sludges to agricultural lands in Alberta. Edmonton: Standards and Approvals / Earth Sciences Division, 1982.
2. BISCAIA, R.C.M. & MIRANDA, G.M. Uso de lodo de esgoto calado na produção de milho. *Sanare*, Curitiba, 1996, 5(5):86-89.
3. BONNET, B.R.P. **Diagnóstico situacional e proposição preliminar do plano de monitoramento dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola de lodos de esgoto no Paraná**. Curitiba, Monografia (especialização em Análise Ambiental) Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 1995. 153 p.
4. COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios agrônômicos, sanitários e ambientais para a implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto**. Curitiba, Sanepar, 1994. 51 p.
5. _____. **Manual Técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba. Sanepar, 1997. 96 p.
6. ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE OF CANADA. Environment Canada. **Manual for and application of treated municipal wastewater and sludge**. Ontario : EPS, 1984. (6-EP-84-1).
7. FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C.V. *et alli*. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. *Sanare*, Curitiba, 1996, 5(5):46-58.
8. SOCCOL, V.T., *et alli*. Viabilidade de ovos de helmintos em lodo aeróbio e anaeróbio. Relatório interno. 1997.
9. SOUZA, M.L.P.; ANDREOLI, C.V.; PAULETTI, V. *et alli*. Desenvolvimento de um sistema de classificação de terras para disposição final do lodo de esgoto. *In: Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (4:1994: Florianópolis)*. *Anais ... Florianópolis: ABES/APRH*, 1994, v.1, t.1, p 403-419.
10. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Sludge Treatment and Disposal**. Cincinnati : EPA, v. 1 e 2, 1979.