



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-044 - EFEITOS DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E DISSEMINAÇÃO DE METAIS PESADOS E PATÓGENOS EM DOIS TIPOS DE SOLOS.

Cleverson Vítório Andreoli

Eng. Agrônomo, Dr. em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR), Professor da UFPR e da FAE Business School, Eng. de Desenvolvimento e Coordenador Técnico do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto e do Programa Interdisciplinar de Pesquisas de Gerenciamento de Mananciais da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR/GECIP.

Eduardo Sabino Pegorini

Eng. Agrônomo, MSc. Em Agronomia, Integrante grupo de coordenação e Pesquisador do Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto da SANEPAR, Professor da FAE Business School. Consultor na área de gerenciamento de resíduos sólidos e gestão ambiental.

Andréia Cristina Ferreira

Eng. Agrônoma, MSc. em Agronomia, Doutoranda em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR), Integrante do Grupo de Coordenação do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto e do Programa Interdisciplinar de Pesquisas de Gerenciamento de Mananciais, pesquisadora pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR/GECIP.

Endereço do autor principal: SANEPAR/GECIP R. Engenheiros Rebouças, 1376 – Rebouças – Curitiba / PR CEP: 80215-900 – Brasil - Tel: +55(41) 330-3238 – Fax: +55(41) 333-9952.

 c.andreoli@sanepar.com.br

RESUMO

A reciclagem agrícola de lodos de esgoto tem se caracterizado nos países desenvolvidos como a alternativa mais adequada e promissora do ponto de vista econômico e ambiental para a disposição final destes resíduos. No Brasil, as condições tropicais e subtropicais que expõem o solo a intenso intemperismo e rápida degradação da matéria orgânica, o uso do lodo como insumo agrícola apresenta aspectos positivos para a agricultura, para o meio ambiente e para o setor de saneamento.

O uso inadequado deste material, no entanto, pode disseminar estes elementos e colocar em risco a saúde pública e animal e o meio ambiente, principalmente em função da dispersão de contaminantes (metais pesados e nutrientes) e agentes causadores de doenças (patógenos).

O presente trabalho avaliou o efeito da aplicação de taxas crescentes de lodo de esgoto sobre as características físico-químicas, acúmulo de metais pesados e organismos patogênicos, a absorção de metais pesados por plantas e grãos de milho (*Zea mays*) em dois solos distintos e de grande expressão econômica no Estado do Paraná.

Como resultado da aplicação do lodo, observou-se melhora dos níveis de pH, CTC, P e Ca e Mg dos solos e baixo acúmulo de metais nos solos, mesmo nas maiores doses aplicadas. Também não observou-se indicativo de contaminação biológica das parcelas adubadas com lodo nestes níveis de adubação.

Conclui-se, portanto, que a utilização agrícola do lodo de esgoto segundo os critérios de segurança estabelecidos pela Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná.

PALAVRAS-CHAVE: Biossólidos, Lodo de Esgoto, Uso Agrícola do lodo, metais pesados, impactos ambientais

INTRODUÇÃO

A reciclagem agrícola de lodos de esgoto tem se caracterizado nos países desenvolvidos como a alternativa mais adequada e promissora do ponto de vista econômico e ambiental para a disposição final destes resíduos. No Brasil, as condições tropicais e subtropicais que expõem o solo a intenso intemperismo e rápida degradação da matéria orgânica, o uso do lodo como insumo agrícola apresenta aspectos positivos para a agricultura, para o meio ambiente e para o setor de saneamento.

Do ponto de vista agrícola, o lodo contém teores significativos de matéria orgânica e nutrientes, principalmente nitrogênio (N), fósforo (P) e micronutrientes, atuando como condicionador do solos e fertilizante (SANEPAR, 1997; MELO e MARQUES, 2000). Pode ainda atuar como corretivo do solo quando o processamento do resíduo envolve a adição de quantidades significativas de reagentes alcalinos, como na calação, amplamente empregada no Paraná.

O uso do lodo pode influenciar positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para uma agricultura sustentável, reduzindo a erosão e suas consequências ambientais. Num sentido mais amplo, traz também vantagens indiretas ao homem e ao meio ambiente, tais como: a redução dos efeitos negativos da incineração, da dependência de fertilizantes químicos e melhoria do balanço do CO₂ da biosfera, pelo incremento da matéria orgânica do solo.

Para o setor de saneamento a reciclagem representa uma alternativa de grande alcance para um problema grave que tende a acentuar-se ainda mais nos próximos anos com as perspectivas de aumento da produção de lodo. Esta alternativa de disposição alia baixo custo e impacto ambiental positivo, quando realizada dentro de critérios seguros. É característico do tratamento do esgoto a concentração de metais pesados, organismos patogênicos e compostos complexos nos lodos (SILVA et al., 2001). O uso inadequado deste material, no entanto, pode disseminar estes elementos e colocar em risco a saúde pública e animal e o meio ambiente.

O presente trabalho avaliou o efeito da aplicação de taxas crescentes de lodo de esgoto sobre as características físico-químicas, acúmulo de metais pesados e organismos patogênicos, a absorção de metais pesados por plantas e grãos de milho (*Zea mays*) em dois solos distintos e de grande expressão econômica no Estado do Paraná. Apresentando parte dos resultados obtidos no Programa Interdisciplinar de Pesquisas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto financiado pelo PROSAB, tema 4, que avaliou o potencial do uso de lodo de esgoto anaeróbio como insumo agrícola no Estado do Paraná e representa parte da tese de Doutorado do primeiro autor.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas dois tipos de solos característicos regiões do Paraná com produção significativa de lodo de esgoto: Londrina e Paranavaí. Nestes locais foram implantados experimentos, onde o lodo foi aplicado em diferentes dosagens durante dois ciclos de produção (1997/1998 e 1998/1999), para avaliação dos efeitos do material sobre propriedades físico-químicas do solo, e acúmulo de metais pesados solos, folhas e grãos da cultura de milho.

Características dos solos

O experimento foi desenvolvido em solo Nitossolo Vermelho distrófico textura argilosa no município de Londrina, e Latossolo Vermelho Eutrófico textura média em Paranavaí. O tabela 01 apresenta os resultados da análise química de rotina destes solos.

Tabela 01 - Caracterização físico-química dos solos.

Prof.	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	K+	T	P	C	m %	V %	Areia	Silte	Argila
cm	CaCl ₂			cmole/dm ³				mg/dm ³	g/dm ³			%		
TERRA ROXA - LONDRINA														
0 - 20	4,8	0,2	5,7	5,1	3,6	0,41	11,2	10,0	19,0	3,5	49,2	4,0	20,0	76,0
20 - 40	4,9	0,2	5,3	4,9	3,2	0,12	10,3	2,0	14,3	3,8	48,6	4,0	14,0	82,0
LATOSSOLO VERMELHO EUTRÓFICO - PARANAVÁ														
0 - 20	5,1	0	3,1	2,6	1,4	0,06	5,8	4,0	9,5	0	46,2	80	6	14
20 - 40	4,9	0,2	3,1	1,8	1,1	0,04	4,9	3,0	4,8	9,8	37,2	82	4	14

Lodo Utilizado

Foi utilizado lodo de esgoto digerido anaeróbico calcado produzido em Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado (RALF), desaguado em leito de secagem (umidade média de 62,5%); Os Tabelas 02 e 03, apresentam as características do lodo utilizado nos experimentos.

Tabela 02- Características químicas em % de peso seco de lodo utilizados nas áreas experimentais.

Lodo	N total	P ₂ O ₅ total	K ₂ O	Ca	Mg	pH	M.O. total	C total	C/N
Anaeróbico	2,22	0,95	0,34	0,83	0,30	6,1	36,2	20,1	9

Tabela 03 - Teor de metais pesados no lodo digerido anaeróbico calcado utilizado

Lodo	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Anaeróbico	mg/Kg						
	< 3,0	53	114	1,8	37	60	530

Antes da aplicação, seguindo os critérios de uso do lodo definidos pela Normatização do Instituto Ambiental do Paraná, o lodo foi submetido a processo de higienização através de calcinação com CaO (cal virgem) a 50% em base de peso seco.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, com 5 tratamentos e 3 repetições:

T0 – tratamento testemunha;

T6 – tratamento com 6 t MS/ha de lodo+ 40 kg de superfosfato simples;

T12 - tratamento com 12 t MS/ha de lodo;

T18 - tratamento com 18 t MS/ha de lodo;

O solo das duas áreas experimentais foram previamente calcareados (CaCO₃) com base nos resultados da análise de solo. Os tratamentos com lodo foram suplementados com 40 kg/ha de cloreto de potássio. As aplicações de fertilizantes (químicos e minerais) foram realizadas a cada cultivo de milho, totalizando duas aplicações em cada parcela. Foram analisadas neste trabalho apenas os resultados finais do experimento, isto é, os efeitos do lodo após

dois anos de aplicação.

Parâmetros analisados.

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, a partir de vários pontos da parcela para a constituição de amostras compostas. Após a colheita da cultura de milho foram realizadas análises químicas para obtenção do teor de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni e Zn), parâmetros do solo (pH, Ca, Mg, K, P, C, CTC, Al) e contagem e viabilidade de ovos de helmintos.

As análises de metais foram realizadas no Instituto Tecnológico do Paraná (TECPAR), com extração com ác. nítrico. Folhas e grãos da cultura foram digeridas com ác. sulfúrico e água oxigenada.

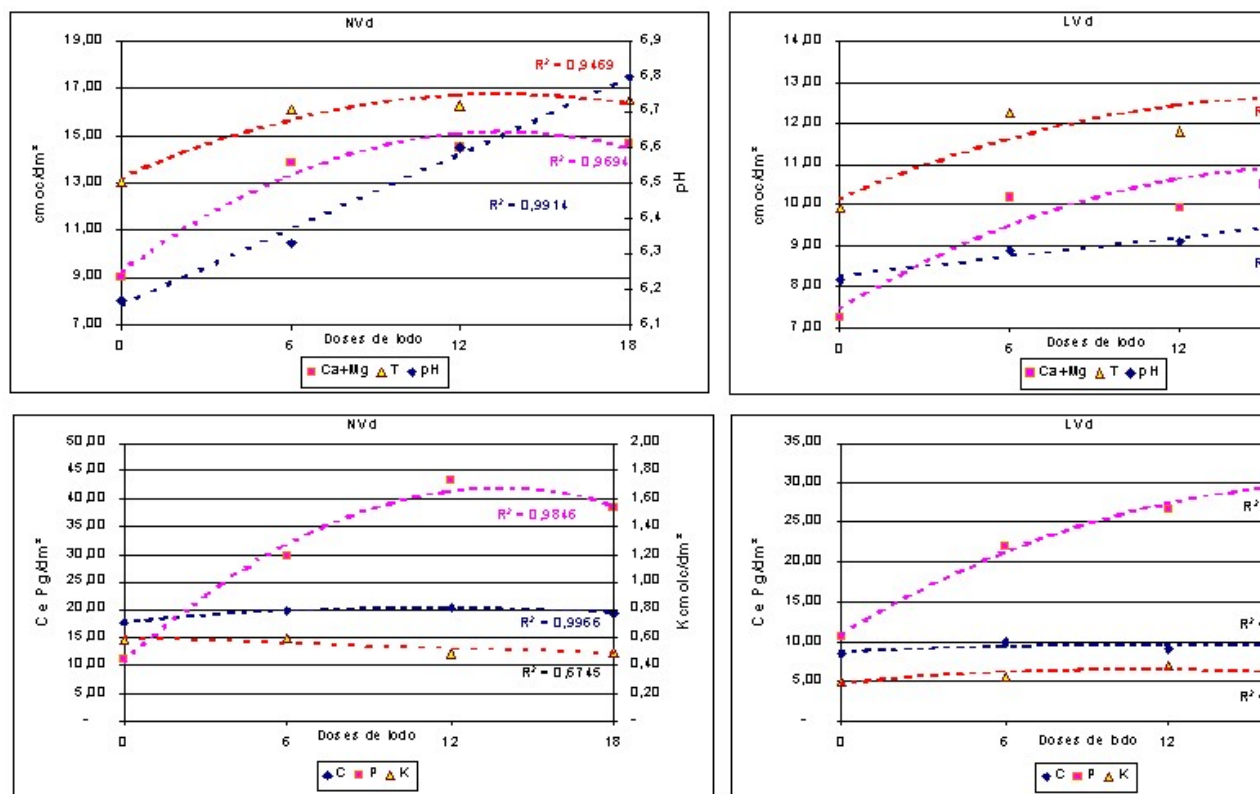
As análises dos parâmetros agrônômicos dos solos foram realizadas no laboratório de solos do Departamento de solos da UFPR (metodologia PAVAN, 1992) e as análises de helmintos pelo laboratório de patologia básica da UFPR, segundo metodologia de YANKO modificada de (THOMAZ-SOCCOL, 1999).

RESULTADOS

Parâmetros Agrônômicos

A figura 1 apresenta o efeito das doses de lodo sobre os principais indicadores físico-químicos dos solos LVd e NVd.

Figura 1 - Efeito da aplicação do lodo de esgoto sobre parâmetros físico-químicos do solo após duas aplicações de lodo d LVd e NVd.



Observam-se efeitos semelhantes do lodo em solo argiloso (NVd) e arenoso (LVd). Com incrementos significativos de pH, Ca+Mg, CTC, C e P proporcionais às dosagens de lodo empregadas na adubação.

A aplicação de lodo de esgoto resultou em aumento do pH em ambos os solos, confirmando as expectativas iniciais e demonstrando o potencial de uso do material como substituto dos produtos corretivos usuais. Efeitos mais significativos foram observados no solo arenoso (LVd), devido ao menor poder tampão deste solo, apontando a necessidade de critérios na definição das dosagens, para evitar o desequilíbrio com o aumento excessivo do pH. O aumento do pH está associado ao processo de higienização, com a adição de grandes dosagens de bases (CaO e MgO),

que resultam ainda nos aumentos verificados no parâmetro $\text{Ca} + \text{Mg}$ de ambos os solos.

Em todos os tratamentos, incluindo a testemunha, os teores de Al trocável se apresentaram em nível 0 cmolc/dm^3 (zero), isto em decorrência da calagem do solo realizada em área total três meses antes da instalação do experimento.

Os acréscimos observados sobre a CTC dos solos possivelmente estejam associados ao efeito de aumento do pH, liberando cargas anteriormente ocupadas pelos elementos H^+ e Na^+ nos sítios de troca. Pode ser associado ainda, embora em menor escala, a matéria orgânica adicionada através do lodo, produzindo novos sítios de troca com sua decomposição. Os teores de C do solo não foram influenciados significativamente com os tratamentos, provavelmente em função do clima, a matéria orgânica adicionada via lodo tenha sido rapidamente decomposta.

O experimento evidencia ainda o potencial do lodo no aumento da disponibilidade de P para as plantas. As curvas de tendência apresentaram forte incremento com as doses de 6 e 12 t m.s./ha, estabilizando-se nas maiores dosagens (18 t m.s./ha). Os efeitos mais expressivos observados no solo NVd, com teores superando 40 ppm, devem-se à maior capacidade de fixação do elemento neste solo.

De forma contrária ao verificado com o P, o nutriente K apresentou teores estabilizados no solo, independente da taxa de lodo aplicada, mesmo com a complementação mineral. Contribuem para este resultado:

- baixa quantidade de K adicionada através do lodo, o lodo é pobre em K; e
- maior afinidade dos elementos Ca e Mg, adicionados em grandes quantidades através do lodo, pelos sítios de troca do solo, reduzindo a fixação do K aplicado como fertilizante mineral.

As curvas de resposta dos parâmetros do solo a adição de doses de lodo apresentaram tendência polinomial, com tendência de estabilização e/ou queda nas maiores dosagens, evidenciando possível saturação dos solos nestas doses.

Nas folhas e grãos (figuras 2), observou-se tendências de aumento nos teores de N com as doses crescentes de lodo em ambos os solos, evidenciando a mineralização e disponibilidade de N para as plantas a partir da decomposição do lodo, com acúmulo nas folhas e grãos.

Os elementos P, K e Ca nas folhas e grãos de milho no solo NVd (figura 3) não apresentaram efeito das doses de lodo, confirmando a excelente condição do solo, com nível adequado de fertilidade. A absorção de Mg apresentou tendência de aumento proporcional a aplicação de lodo.

No solo LVd, observou-se aumento de absorção e translocação de N para as folhas semelhante aos verificados no solo NVd (gráfico 4). Os níveis de K e P em grãos (figura 4), embora não tenham apresentado diferença estatística, evidenciaram tendência de acúmulo nos tratamentos com maiores dosagens de lodo. Para Ca e Mg, não verificou-se efeito em grãos no solo LVd, provavelmente em função da adição destes elementos através da calagem do solo antes do plantio, fornecendo quantidades adequadas a todos os tratamentos.

FIGURA 2. Efeito da aplicação de lodo sobre teores de N em folhas e grãos de milho.

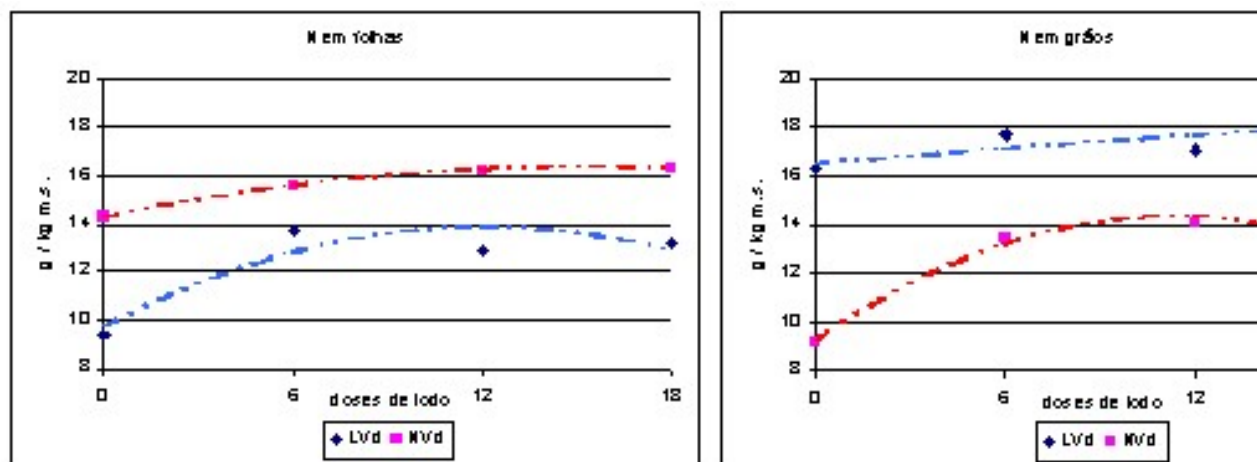


FIGURA 3. Efeito da aplicação de lodo sobre teores de nutrientes em folhas e grãos de no solo NVd.

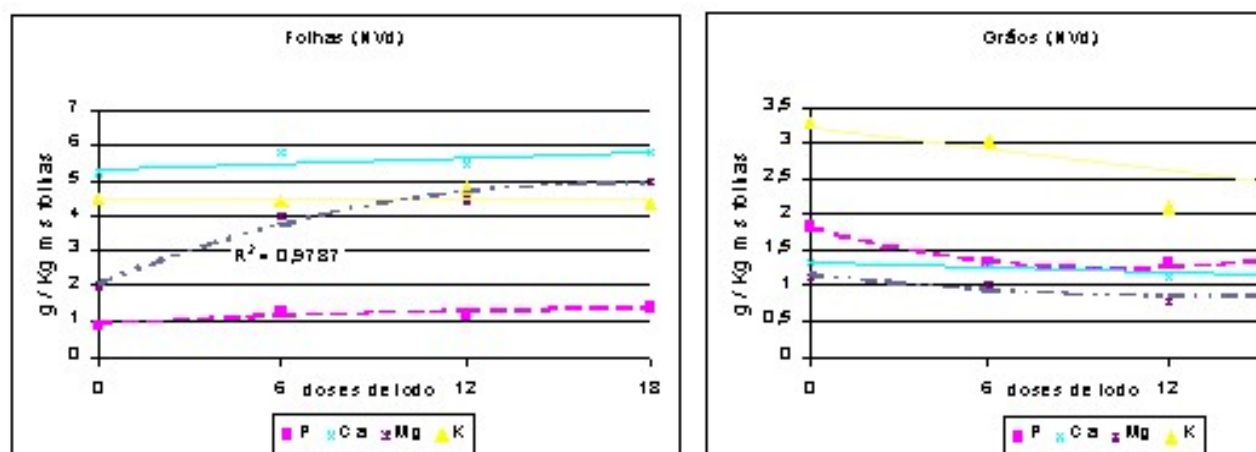
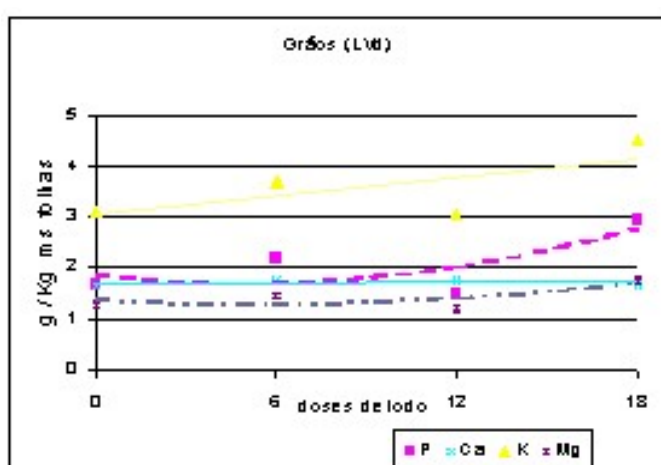


FIGURA 4. Efeito da aplicação de lodo sobre teores de nutrientes em grãos de milho, solo LVD



Metais Pesados

Os metais pesados, quando adicionados ao solo a partir de lodos, podem ser lixiviados ou disponibilizados para as plantas através da mineralização da matéria orgânica e da solubilização das formas minerais presentes no lodo, aumentando as concentrações no solos, plantas e colheitas, colocando em risco a produção agropecuária.

Os gráficos da figura 5, 6 e 7 apresentam os resultados das análises de metais pesados em solos, folhas e grãos de milho. Observa-se que a aplicação crescente de lodo de esgoto (0, 12, 24 e 36 t ms/ha divididas em duas aplicações) não influenciou os teores de Cd, Cr e Ni, nos solos, folhas e grãos de milho. Estes elementos foram adicionados em pequenas quantidades, devido aos baixos teores verificados no lodo utilizado no experimento, não observando-se efeitos no solo. Os elementos Cd e Hg não foram observados em níveis acima do limite de detecção do método de análise empregados (3 ppm).

FIGURA 05. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados em solo LVD e NVd.

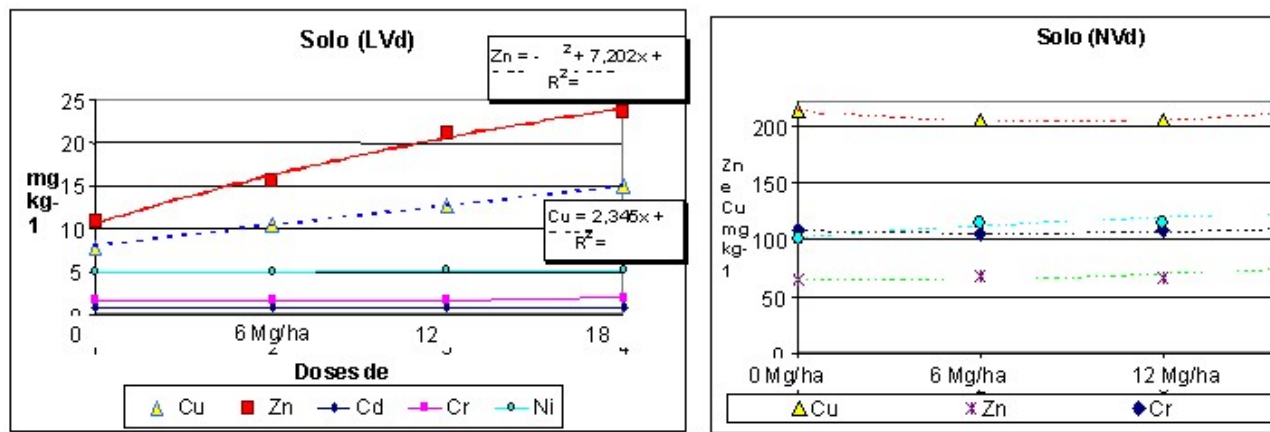
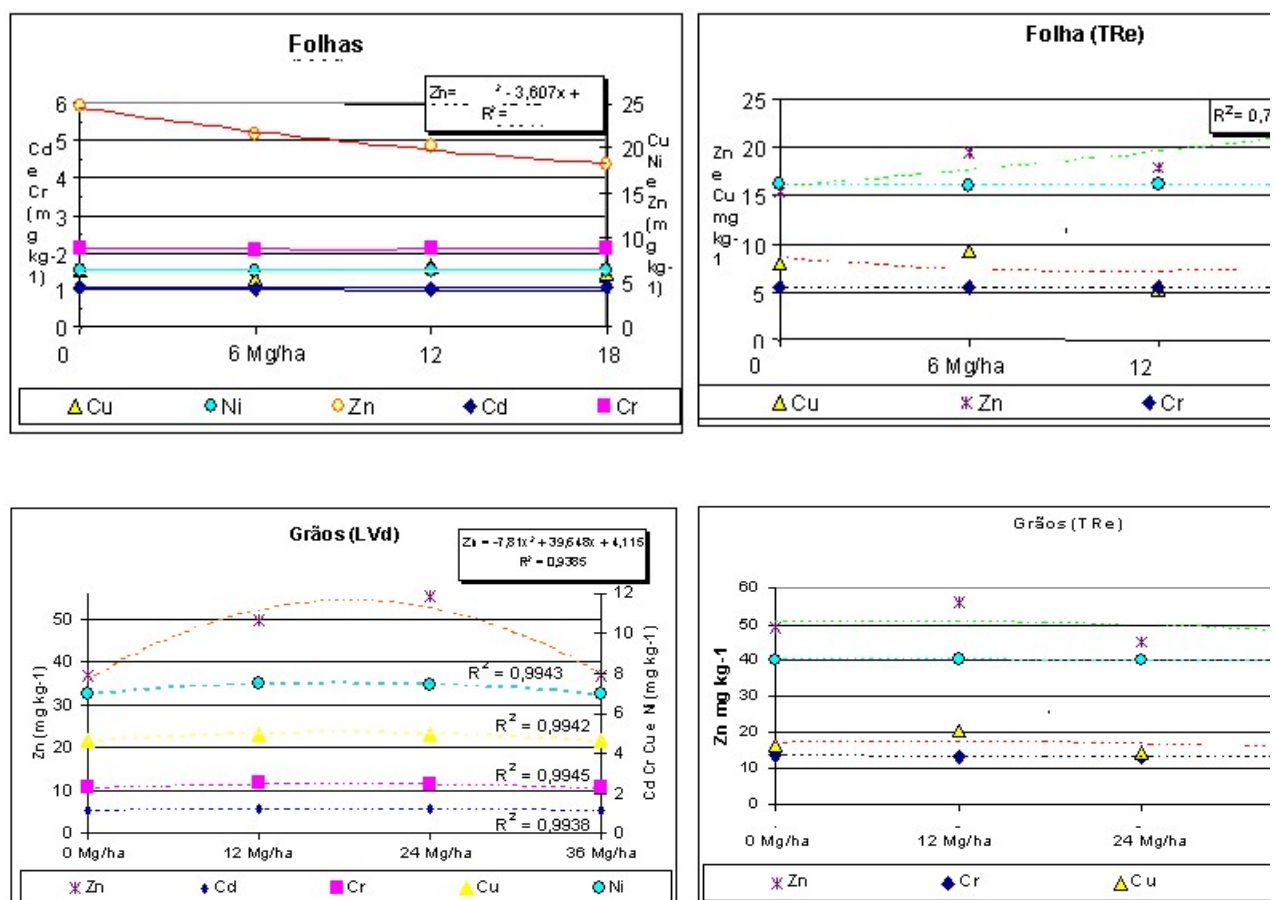


FIGURA 06. Teores de metais pesados em folhas de milho (*Zea mays*) cultivado em solo LVd e NVd adubados com doses crescentes de Lodo de esgoto.



Para os elementos Cu e Zn, no entanto, a aplicação do resíduo, proporcionou incrementos dos teores no solos LVd proporcionais às taxas de aplicação. No solo NVd, não observou-se efeito de adição independente da taxa de lodo aplicada.. Os elementos Cu e Zn representam os maiores teores presentes no lodo (quadro 02), sendo, portanto, adicionados em maiores quantidades ao solo. Diversas características dos solos interferem na dinâmica e conteúdo de metais, entre estes, a contribuição do material de origem do solo determina os teores habituais. Assim, em solos leves (arenosos) com baixos teores naturais de metais, como o LVd de Paranavaí, espera-se acúmulos destes elementos proporcionais às quantidades aplicadas via lodos

Os intervalos observados para todos os elementos, tanto nas áreas com aplicação de lodo como naquelas onde não foi utilizado o resíduo foram, porém, significativamente inferiores aos apontados por outros autores como prejudiciais ao desenvolvimento de culturas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992) e/ou crítico para aplicação de lodos de esgoto segundo as limitação propostas para o Paraná para a CEE e segundo nos EUA (USEPA, 1997).

Para o solo de LVd , mesmo com o incremento dos teores de Cu e Zn nos solos, a aplicação do lodo não se observou

incremento em absorção e acúmulo destes elementos em grãos (gráfico 4), indicando que os metais adicionados reagiram nos solos não tornando-se disponíveis para a cultura. O aumento de pH observado neste solo a níveis próximos a 7,0 contribui para a redução de disponibilidade dos elementos, como verificaram BERTON et al. (1997), que, no entanto poderiam tornar-se disponíveis com a redução deste e oferecer riscos. Devido a baixa mobilidade nas plantas, a absorção reduzida dos elementos se refletiu em menores teores nos grãos. Exceto para o Zn, que apresentou acréscimo e posterior queda com o aumento das doses.

No solo argiloso (NVd) de Londrina o experimento apresentou resultados semelhantes para os elementos Cd, Cr, Ni e Cu (figura2), observando-se pouca influência do lodo sobre os teores destes elementos em solos, folhas e grãos. Aumentos foram verificados apenas para Zn em solos e folhas.

Observou-se teores significativamente superiores de todos os elementos no solo NVd em todas as parcelas do experimento em relação ao solo LVd de Paranavaí. Estes resultados provavelmente estejam relacionados ao material originário destes solos. As rochas básicas apresentam teores significativamente superiores ao arenito de metais pesados (SOUZA et al, 1996; KABATA PENDIAS e PENDIAS, 1992; CETESB, 2001). Todos os elementos, no entanto, dentro de padrões considerados adequados pela literatura e normatizações nacionais e internacionais, exceto o Cu, com teores significativamente superiores independente do tratamento e dosagens de lodo aplicadas e demonstrando a ocorrência natural elevada deste elemento nos solos originários de rochas eruptivas básicas no estado do Paraná.

Disseminação de patógenos.

As análises de contagem e viabilidade de helmintos realizadas nos tratamentos TE e T18 demonstraram que mesmo na maior dosagem de lodo aplicada não observa-se viabilidade de ovos de helmintos tanto no solo NVd quanto no solo LVd.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

1. A aplicação de lodo de melhorou os níveis de pH, CTC, P e Ca e Mg dos solos.
2. Não observou-se indicativo de contaminação biológica das parcelas adubadas com lodo nestes níveis de adubação.
3. O uso de lodos de esgoto caleados resultou em aumentos proporcionais dos metais pesados Cu (LVd) e Zn (LVd e TRe).
4. A concentração de metais em solos e folhas e grãos foram influenciadas mais acentuadamente no (LVd).
5. Os elementos Cu e Zn merecem atenção especial uma vez que são adicionados em maiores quantidades e apresentaram concentrações em folhas e grãos influenciadas pelas doses de lodo.
6. A elevação do pH especialmente no solo arenoso (LVd) provavelmente influenciou a absorção dos elementos resultando em menor concentração em folhas e grãos na maior dosagem (pH final mais elevado).
7. Conclui-se, portanto, a utilização agrícola do lodo de esgoto segundo os critérios de segurança estabelecidos pela Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SOUZA, M. L. P. et al. Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná. Sanare, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 68-75
- BERTON, R. S.; VALADARES, J.M.A. S.; CAMARGO, O. A de; BATAGLIA, O. C. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três Latossolos. Rev. Bras. Ci. Solo. Viçosa: SBCS, v 21 p 685-691, 1997
- CETESB. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.2001. 73p.
- KABATA-PENDIAS, A. e PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC, 1992, 315p.
- THOMAZ SOCCOL, V.; PAULINO, R.C. Riscos de Contaminação de Agrossistema com Parasitos pelo Uso do Lodo de Esgoto. In BETTIOL, W. CAMARGO, O. A. (ed.). Impactos Ambientais do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto.

Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.245-258.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, 1997.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F; SOCCOL, V. e MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. e SPERLING, M. (eds). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG/SANEPAR, 2001 p 69 - 122