

III-425 – TAXA DE APLICAÇÃO MÁXIMA ANUAL DE LODO DE ESGOTO HIGIENIZADO POR PROCESSO ALCALINO – Análise comparativa com calcário em solos do Paraná

Giovana Poggere⁽¹⁾

Graduanda do curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Beatriz Monte Serrat

Engenheira Agrônoma pela UFPR. Doutora pela ESALQ/USP. Professora do Programa de Mestrado em Ciência do Solo, UFPR.

Simone Bittencourt

Engenheira Agrônoma pela UFPR. Mestre em Agronomia pela UFPR. Analista da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Antônio Carlos Vargas Motta

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Doutorado em Agronomy and Soils pela Auburn University, USA. Professor adjunto da UFPR.

Cleverson Vitório Andreoli

Engenheiro Agrônomo pela UFPR. Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento, UFPR. Engenheiro de pesquisa da Sanepar e professor do mestrado em Organizações e Desenvolvimento da FAE.

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Funcionários, 1540, - Juvevê – Curitiba - PR - CEP 80035-050 – Brasil – Tel: (41) 3350 - 5630 - e-mail: gi.poggere@gmail.com

RESUMO

Dos muitos destinos para o lodo de esgoto, a reciclagem agrícola destaca-se por ser uma alternativa econômica e/ou técnica, pois transforma um resíduo em insumo agrícola. Para permitir sua utilização, processos de higienização são empregados, como o de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP) praticada pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Objetivou-se com este trabalho determinar a taxa máxima anual de aplicação de lodo de esgoto EAP em três solos paranaenses, através de curvas obtidas pela incubação do solo com o lodo do respectivo local; comparar as curvas de pH obtidas pela incubação do lodo alcalinizado com as curvas obtidas pela incubação de calcário comercial; comparar as quantidades de lodo EAP recomendadas pelos métodos da Incubação e da Saturação por Bases (V%). Para isso, foram selecionadas três regionais da Sanepar (Maringá, Ponta Grossa e Telêmaco Borba), sendo que em cada uma amostrou-se um solo representativo e o lodo de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Para cada solo, a unidade experimental constou de 400 g de solo incubados com 0, 10, 20, 40, 80 t ha⁻¹ de Lodo EAP e com doses de calcário equivalentes à quantidade para atingir-se a saturação por bases de 40 % (60% para Maringá), 80 %, 120 % e 160 %, e testemunha (V% inicial), organizados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As amostragens foram realizadas aos 0, 7, 14, 30, 45 e 60 dias de incubação e o solo amostrado foi imediatamente seco em estufa a 60°C e determinado o pH em CaCl₂. Os dados coletados foram analisados estatisticamente pelo programa R através de análise de variância e regressão polinomial. Houve diferença na taxa de aplicação máxima de lodo EAP, sendo que o teor de argila e o valor de V% inicial, atributos que podem estar relacionados a essa variação, além do PN do lodo utilizado em cada solo. As taxas de aplicação máxima anuais de lodo EAP para os três solos foram de 27,6 t ha⁻¹ para Maringá, de 10, 8 t ha⁻¹ para Ponta Grossa e de 28,6 t ha⁻¹ para Telêmaco Borba, sendo esses valores estabelecidos em função do critério de elevação de pH, conforme estabelece a legislação vigente, considerando as características dos solos selecionados e do lote de lodo de esgoto, da respectiva regional, higienizado pelo processo EAP; os solos incubados com calcário necessitam de um tempo maior de reação para elevar o pH comparado aos solos incubados com lodo EAP; o método de saturação por bases apresentou-se adequado para a determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP.

PALAVRAS-CHAVE: Curva de incubação, resíduos sólidos, corretivos de acidez do solo.

INTRODUÇÃO

A reciclagem do lodo de esgoto na agricultura destaca-se com resultados positivos em diversos estudos como alternativa ambiental, econômica e/ou técnica, por transformar um resíduo em insumo agrícola (Serrat et al., 2010). Porém do total de lodo produzido no País, apenas 15% são utilizados na agricultura, do restante, metade é depositada em aterros sanitários e os outros 35% não têm destino definido (Machado et al., 2004).

No estado do Paraná, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), desenvolve programas de disposição agrícola do lodo, e além das determinações da Resolução CONAMA 375/06 segue também a resolução SEMA 021/09 (Paraná, 2009). Ambas estabelecem critérios para a determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto, entre eles o de pH, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo de esgoto não ultrapasse o limite de 7,0.

Para realizar a higienização do lodo de esgoto, a SANEPAR utiliza o Processo de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP) por meio da adição de cal com base no valor de sólidos totais do lodo bruto, visando a elevação do pH da mistura a 12, com posterior período de cura de 30 dias. Este processo apesar de aumentar o volume final, permite que o lodo adquira características de corretivo do solo, além disso, contém considerável percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais (Nascimento et al., 2004, Bittencourt et al., 2009).

No entanto, quando se utiliza o lodo EAP como corretivo da acidez do solo, sua aplicação deve ser feita com cautela, pois quando em excesso poderá provocar efeitos negativos nos cultivos agrícolas. Isso poderá ocorrer em solos com valores pH em água superiores a 7,0 (Mello et al., 1984), equivalente ao pH em CaCl_2 de 6,4, pois neste caso pode vir a comprometer o suprimento de alguns micronutrientes tais como Mn, Fe, Zn, Cu e B (Motta & Lima, 2006).

Como existem variações na origem do esgoto, nas etapas do seu tratamento e no tempo de permanência do lodo no leito de secagem, mesmo que se utilize um só material alcalinizante no processo da sua higienização, os lotes de lodo EAP resultantes poderão apresentar poderes alcalinizantes distintos. Da mesma forma, cada solo apresenta sua própria característica de resistência à variação do pH (poder tampão), respondendo também diferentemente à aplicação de um mesmo corretivo da acidez do solo (Serrat et al., 2010).

Portanto, estudos que levem em conta as particularidades de cada solo bem como do lodo a ele aplicado, se fazem necessários para que se possam aprimorar as recomendações agrícolas deste material, reduzindo riscos de aplicação em excesso, decorrente de recomendações generalizada deste material.

Desta forma, objetivou-se com este trabalho:

- determinar a taxa máxima anual de aplicação de lodo de esgoto, higienizado por estabilização alcalina prolongada (EAP) em três solos paranaenses, através de curvas obtidas pela incubação do solo com o lodo do respectivo local;
- comparar as curvas de pH obtidas pela incubação do lodo EAP com as curvas obtidas pela incubação de calcário comercial;
- comparar as quantidades de lodo EAP recomendadas pelos métodos da Incubação e da Saturação por Bases (V%).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados solos de importância agrícola nos municípios de Maringá, Ponta Grossa e Telêmaco Borba no estado do Paraná. Os mesmos foram amostrados em área de mata na profundidade de 20 cm, e com auxílio do ponto de localização fornecido por aparelho de georeferenciamento global (GPS), foram classificados, respectivamente, como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico (NVef), LATOSSOLO VERMELHO (LV) e ARGISSOLO VERMELHO Distroférico (PVD).

As amostras coletadas foram encaminhadas ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, e após secos em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 60°C, procederam-se as análises químicas, seguindo metodologia descrita por MARQUES & MOTTA (2003) e físicas, seguindo metodologia da EMBRAPA (1997) (Tabela 1).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos dos solos de Maringá, Ponta Grossa e Telêmaco Borba, utilizados no processo de incubação*.

OLO*	S CaCl ₂	pH SMP	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	T	P	C	V	Areia	Silte	Argila	Ds
					cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%		g cm ⁻³		g dm ⁻³
Maringá															
Nvef-3	4,4	5,6	0,3	6,7	4,8	1,8	0,29	13,6	3,6	45,7	51	51,5	198,5	750	0,68
Ponta Grossa															
LV	4,5	6,2	0,3	4,3	1,2	0,6	0,12	6,2	2,4	13,3	31	646,5	78,5	275	1,49
T. Borba															
PVd-17	3,8	5,1	2,4	9,7	0,5	0,1	0,1	10,4	2,2	18,2	7	391	384	225	1,28

* Nvef : NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico; LV: LATOSSOLO VERMELHO; PVd: ARGISSOLO VERMELHO.

Os lodos de esgoto foram coletados nas estações de tratamento de Maringá, Ponta Grossa e Telêmaco Borba, sendo proveniente do tratamento anaeróbico e desaguados em leito de secagem. Após a determinação da quantidade de sólidos totais (ST) em cada amostra de lodo, realizou-se a higienização em laboratório, através do processo de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), adicionando-se cal na proporção de 50% de sólidos totais, com período de cura de 30 dias. A caracterização do lodo bruto e dos materiais alcalinizantes utilizados no experimento, são apresentados na Tabela 2.

Após o período de cura, empregou-se o ensaio de incubação para lodo de esgoto alcalinizado aplicado ao solo, de acordo com a metodologia oficial, descrita em BRASIL 2006. Cada experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos e três repetições, sendo que os tratamentos constaram de cinco doses de lodo de esgoto e cinco de calcário (Tabela 3). O efeito do tempo sobre pH foi avaliado em amostras de solo incubado por 0, 7, 14, 30, 45 e 60 dias.

A umidade na capacidade de campo foi obtida através da mesa de Tensão visando sua manutenção nos solos incubados durante o período do experimento com adição de água desionizada. Para determinação do pH utilizou-se solução de CaCl₂ 0,01 M relação solo/solução (1:2,5). Ambas as determinações (umidade e pH) fora realizadas conforme metodologia da EMBRAPA, 1997 (Figura 1).

Tabela 2 – Características da cal, dos lodos bruto desaguado e caleado e do material alcalinizante utilizado incubação dos solos.

Regional	ETE	Lodo					
		bruto desaguado			caleado		
		ST(%) ¹	pH	DPLS ²	ST(%)	pH	PN (%) ³
Maringá	Mandacaru	34	4,0	28	52	13,0	34
Ponta Grossa	Gertrudes	53	5,5	23	49	13,1	59
Telêmaco Borba	Uvaral	49	5,8	38	57	13,0	45
Material alcalinizante		pH		PN (%)		PRNT ⁴	
Cal		13,3		124		105,1	
Calcário		9,5		101,8		101,3	

¹ST: Sólidos Totais, ²DPLS: Dias de Permanência no Leito de Secagem; ³PN: Poder de Neutralização, ⁴PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

Tabela 3 – Doses de lodo de esgoto caído e de calcário aplicadas para obtenção das curvas de pH em três solos paranaenses.

Local	Solo	ETE	Tratamento	
			Lodo de esgoto (t ha ⁻¹ de ST)	Calcário * (t ha ⁻¹)
Maringá	Nvef-3	Mandacaru	0 – 10 – 20 – 40 – 80	0 – 1,2 – 3,9 – 9,6 – 14,6
Ponta Grossa	LV	Gertrudes	0 – 10 – 20 – 40 – 80	0 – 0,6 – 3,0 – 5,5 – 7,9
T. Borba	PVd-17	Uvaral	0 – 10 – 20 – 40 – 80	0 – 3,4 – 7,5 – 11,6 – 15,0

*doses calculadas pelo método de saturação de bases (V%) visando manter o V% inicial do solo e atingir V% de: 40 (no caso de Maringá 60) -80 – 120 – 160, respectivamente



Figura 1 – Solos incubados com lodo de esgoto caído e calcário. Monitoramento da umidade dos solos (A), coleta das amostras (B) e preparo das amostras para leitura de pH (C).

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelo programa R, fazendo-se a análise da variância. Para interação entre solo e lodo foi obtida a curva de elevação do pH em função das doses de lodo adicionadas, para cada solo, visando identificar a taxa de aplicação máxima anual.

A análise de Regressão Polinomial do pH versus dose de lodo EAP foi realizada e considerou-se o limite superior do Intervalo de Predição com 95% de confiabilidade (DRAPER E SMITH, 1998; R, 2008), para indicar a quantidade de lodo EAP que não ultrapassasse o pH 7, aumentando a segurança em relação ao uso direto da equação. Enquanto a equação representa a média das ocorrências, podendo resultar em valores futuros tanto inferiores quanto superiores ao pH 7, o limite superior do Intervalo de Predição, com 95% de confiabilidade, melhor atende a legislação pois aumenta a probabilidade de não se ultrapassar o pH 7 em solos que recebam a quantidade de lodo EAP recomendada por esse limite.

Foram realizadas as superfícies de resposta de pH dos solos incubados com doses de lodo EAP e com doses de calcário, em função do tempo de incubação.

O método de incubação foi comparado ao método V%, conforme descrito por Andreoli et al. (2001), visando avaliar o potencial de utilização dos valores dos atributos químicos e físicos, obtidos em análise de rotina de cada um dos solos estudados, na recomendação da taxa de aplicação de lodo EAP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TAXA DE APLICAÇÃO MÁXIMA ANUAL

A adição de lodo de esgoto EAP promoveu aumento do pH nos três solos estudados (Figura 1), o que já era esperado, devido ao poder alcalinizante desses lodos (Tabela 2). Este resultado concorda com MATTOS et al. (2005) trabalhando em solos sob condição de campo.

Cada solo atingiu o pH 7 em diferentes doses. As diferenças obtidas estão principalmente vinculadas aos atributos físicos e químicos de cada solo (Tabela 1) e/ou às características do lodo da respectiva regional (Tabela 3).

Para o solo de Maringá, a taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP obtida foi de 27,6 t ha⁻¹ (Figura 2). Este valor foi 2,5 vezes inferior a taxa observada por SERRAT, et al. (2010) para um solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférrico (Lvdf1) que apresentava características químicas e físicas, que conferiam resistência a elevação de pH, como teor de argila (850 g cm⁻³) e de carbono (46,9 g dm⁻³) semelhantes, porém com menor valor de saturação de bases (5%).

Pelo poder de neutralização do lodo utilizado neste solo ser o menor dos três lodos analisados no experimento (Tabela 2), esperar-se-ia que o solo necessitasse de maior quantidade do mesmo para que se atingisse a taxa máxima. A menor quantidade observada é explicada, neste solo, pelo seu caráter eutrófico (V% 51, Tabela 1) que por se tratar de uma área de mata e que não recebe fontes externas de nutrientes, possui bons níveis de fertilidade natural, que resulta na ocupação das cargas do solo por bases como cálcio, magnésio e potássio, o que consequentemente, diminui a necessidade de material corretivo.

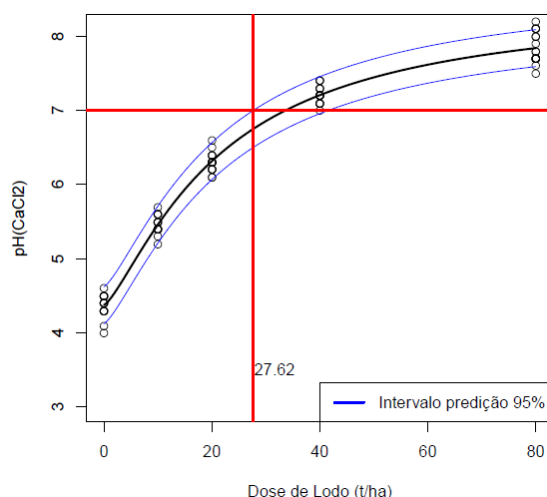


Figura 2 – Curva de elevação do pH para o solo de Maringá em função da dose de lodo de esgoto EAP aplicada e taxa de aplicação máxima, $y = 4,37 + 4,07 * x^{1,33}/(21,45^{1,33} + x^{1,33})$, $R^2=0,99$.

Para o solo de Ponta Grossa, a taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP obtida foi a menor entre os solos estudados, ficando em 10,8 t ha⁻¹ (Figura 3). O poder de neutralização do lodo utilizado nesse solo foi o maior observado entre os três lodos (Tabela 2), o que sugeriria uma taxa de aplicação máxima menor que para os demais solos analisados. Esta observação foi confirmada pela característica alcalinizante do lodo, como já citado, e também pelas características do solo, principalmente pela textura arenosa e pelo teor de carbono médio, que proporcionam baixa capacidade de troca de cátions, resultando em baixo poder tamponante, o qual se confirma pela elevação do pH em CaCl₂ de 4,5 para 6,2 em SMP (Tabela 1).

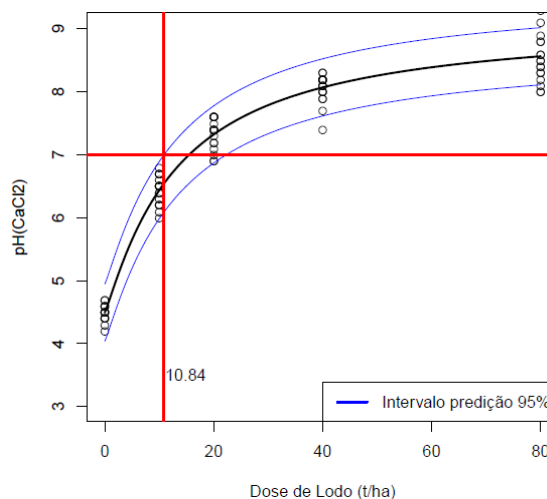


Figura 2 – Curva de elevação do pH para o solo de Ponta Grossa em função da dose de lodo de esgoto EAP aplicada e taxa de aplicação máxima, $y = 4,49 + 4,61 * x^{1,12}/(13,26^{1,12} + x^{1,12})$, $R^2=0,97$.

Para o solo de Telêmaco Borba, a taxa de aplicação máxima foi de 28,6 t ha⁻¹ (Figura 4). Este valor ficou bem próximo ao valor observado para o solo de Maringá, porém as características do solo como baixo valor de V%, que demonstra reduzida quantidade de bases, e a diferença na textura que não apresentava predominância de nenhuma das frações. Isso, aliado a um poder de neutralização intermediário quando comparado aos demais solos, fez com que a taxa necessária para atingir pH 7 fosse a maior observada.

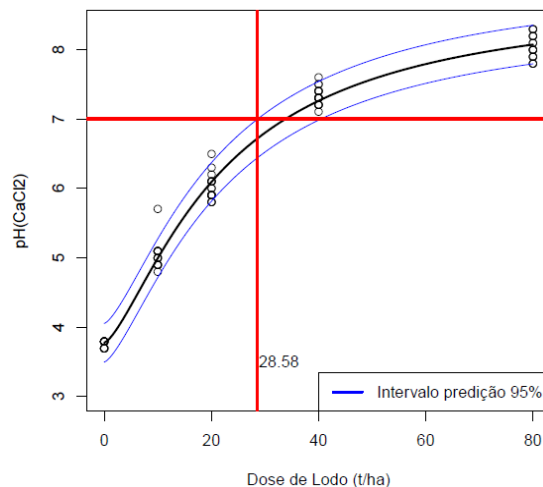


Figura 4 – Curva de elevação do pH para o solo de Telêmaco Borba em função da dose de lodo de esgoto EAP aplicada e taxa de aplicação máxima, $y = 3,78 + 4,99 * x^{1,42} / (22,13^{1,42} + x^{1,42})$, $R^2=0,99$.

Estes resultados indicam a importância da determinação regional da taxa de aplicação, uma vez que as características químicas e físicas do solo juntamente com as características de poder de neutralização do lodo utilizado, podem contribuir para que a taxa de aplicação seja maior ou menor, dependendo do valor desses atributos. Assim, a seleção do tipo de solo predominante será tanto mais difícil quanto forem os tipos de solos com representatividade agrícola que se apresentarem em proporções equivalentes. Estas constatações corroboram com MARTINS et al. (2010), que ao determinarem taxas de aplicação máxima de lodo EAP para solos da Região metropolitana de Curitiba, consideram que além da metodologia de incubação ser demorada, este deve ser observada com cautela, pois uso de apenas um solo predominante da região (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009) poderá resultar em taxas de aplicação máxima anual inadequadas aos diferentes tipos de solo dessa mesma região.

COMPARAÇÃO DO EFEITO DAS DOSES CRESCENTES DE LODO EAP COM AS DOSES DE CALCÁRIO

Para a elevação de pH nos solos que receberam calcário, não foram observados valores que alcançassem pH 7 até o final do período de incubação (60 dias), mesmo no solo com o menor poder tamponante como o de Ponta Grossa. Esse resultado contraria o que foi verificado por Serrat et al. (2010) num solo de textura arenosa (767 g cm⁻³) e com mesmo teor de carbono que o verificado para o solo de Ponta Grossa (13,3 g dm³) porém com maior capacidade de troca de cátions (7,13 cmol_c dm⁻³).

Esta diferença nos valores máximos de pH quando se aplica lodo e calcário, é devido ao tempo de reação dos materiais corretivos aplicados. Uma vez que o lodo EAP apresenta em sua composição óxido de cálcio (CaO) devido à adição de cal, e o calcário carbonato de cálcio (CaCO₃), ao se adicionar óxido de cálcio ao solo, este reage com a água contida instantaneamente e forma hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), que por sua vez eleva o pH da solução a valores próximos ao seu valor de pH (Coelho, 2002). O calcário, por sua vez ao reagir no solo forma CO₃, que é uma base fraca e, portanto age em uma velocidade mais lenta, reduzindo sua capacidade de solubilização, necessitando de um tempo maior para atingir pH's mais elevados.

Verificou-se que para o solo de Telêmaco Borba atingir pH 5,5 em CaCl₂ (Figura 7) foi necessário 2,02 e 2,75 vezes mais calcário comparado aos solos de Maringá (Figura 5) e Ponta Grossa (Figura 6), respectivamente. Este resultado, semelhante ao que foi observado com as doses de lodo EAP, demonstra, além das

características dos materiais corretivos, a influência das características químicas e físicas do solo no caso de Maringá pelo valor inicial de V%, e Ponta Grossa pelo baixo poder tampão.

A Tabela 4 apresenta as quantidades dos dois corretivos obtidas pelo método de incubação para atingir os mesmos pHs para os três solos. Nessa tabela observa-se também a relação entre a quantidade de lodo EAP e o calcário. Verifica-se que os valores absolutos mais elevados foram encontrados para o solo de Maringá, com elevados teores de carbono e argila (Tabela 1), ao qual o lodo EAP apresentava poder neutralizante abaixo dos demais lodos utilizados neste estudo (Tabela 2).

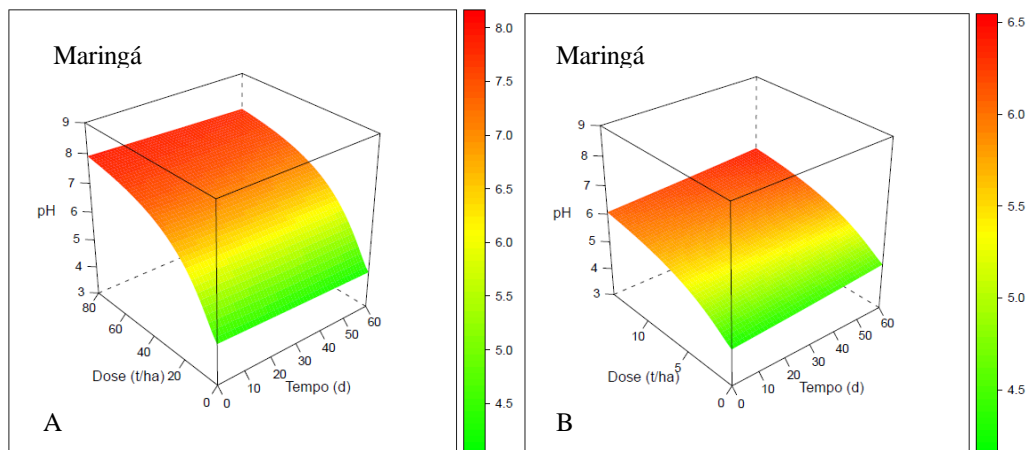


Figura 5 – Curvas de elevação do pH para o solo de Maringá em função das doses aplicadas de lodo de esgoto EAP (A) e calcário (B).

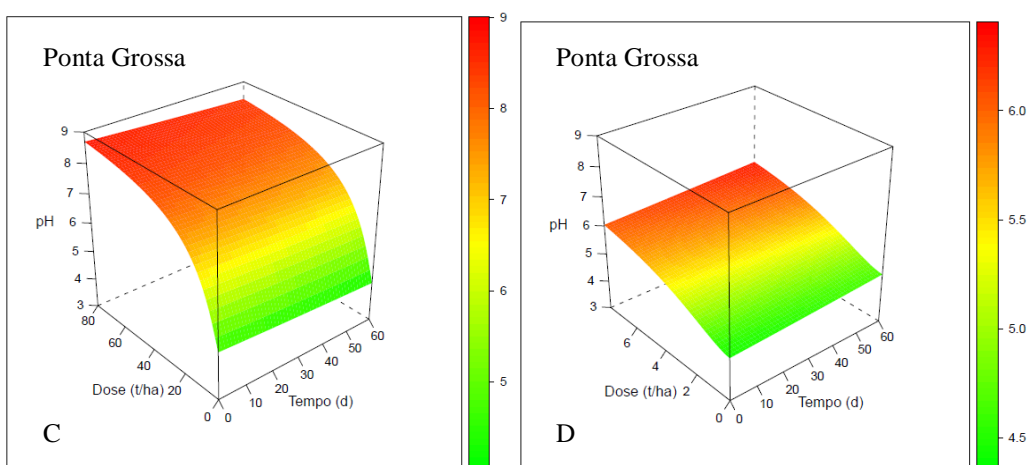


Figura 6 – Curvas de elevação do pH para o solo de Ponta Grossa em função das doses aplicadas de lodo de esgoto EAP (C) e calcário (D).

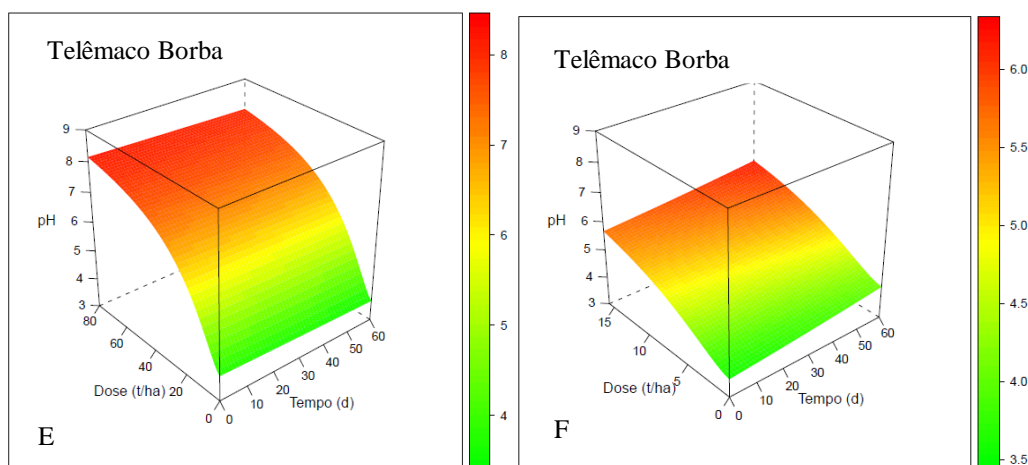


Figura 7 – Curvas de elevação do pH para o solo de Telêmaco Borba em função das doses aplicadas de lodo de esgoto EAP (E) e calcário (F).

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DA INCUBAÇÃO COM O MÉTODO DA SATURAÇÃO DE BASES

As comparações entre as recomendações da taxa de aplicação de lodo EAP, utilizando o método de incubação como referência (BRASIL, 2006 e PARANÁ, 2009), e a recomendação feita a partir do V%, são apresentadas na Tabela 4. Na coluna 2 desta tabela verifica-se que, a partir do cálculo considerando a cal com PN = 124% e uma cultura com V% = 70, as taxas de aplicação máxima anual de lodo EAP seriam, respectivamente de 6,25; 5,87 e 15,85 t ha⁻¹ ST, para os solos de Maringá, Ponta Grossa e Telêmaco Borba. Esses valores, pelo limite superior do Intervalo de Predição (IP_{95%}) das curvas de incubação (Tabela 4), não atingiriam o pH 7.

TABELA 4 – COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DE QUANTIDADE DE LODO EAP

SOLO	Métodos de recomendação para a correção do solo						Relaçã o Lodo/Calcário pH	
	Saturação por Bases		Curva de Incubação para pH _{CaCl2} **					
	Calculada (V ₂ = 70%) (t ha ⁻¹)*							
			5	6	7			
			5	0	0			
							*	
							*	
							*	
	Calcário	Lodo EAP (ST)	Lodo EAP *** (t ha ⁻¹ ST)				5,5	6,0
Maringá - Nvef-3	2,54	6,25	6,61	11,00	16,31	27,6	2,44	2,02
Ponta Grossa - LV	2,39	5,87	2,68	4,78	7,08	10,8	1,43	1,38
T. Borba - PVd-17	6,47	15,85	11,28	15,34	20,16	28,6	1,67	1,56

*Andreoli et al. (2001), PN da cal 124%; ** Limite superior do Intervalo de Confiança de 95%; (Figuras 5,6, e 7); *** Taxa de Aplicação Máxima Anual.

Pelo método do V%, o solo de Maringá alcançaria um pH pouco superior a 5,0, enquanto para os solos de Ponta Grossa e Telêmaco Borba, os valores de pH ficaram entre 5,7 a 6,3. Isto indica que o método de saturação por bases, seguindo orientação de Andreoli et al. (2001), apresentou-se potencialmente adequado para a determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP, mesmo para solos com baixo poder tampão, como o solo de Ponta Grossa (Tabela 1).

Assim, é importante enfatizar que a taxa de aplicação máxima anual, pode sofrer também restrições vinculadas aos demais critérios da Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006), principalmente no que se refere ao nitrogênio.

CONCLUSÕES

As taxas de aplicação máxima anuais de lodo EAP para os três solos foram de 27,6 t ha⁻¹ para Maringá, de 10,8 t ha⁻¹ para Ponta Grossa e de 28,6 t ha⁻¹ para Telêmaco Borba, sendo esses valores estabelecidos em função do critério de elevação de pH, conforme estabelece a legislação vigente, considerando as características dos solos selecionados e do lote de lodo de esgoto, da respectiva regional, higienizado pelo processo de estabilização alcalina prolongada (EAP).

Os solos incubados com calcário necessitam de um tempo maior de reação para elevar o pH comparado aos solos incubados com lodo EAP.

O método de saturação por bases apresentou-se adequado para a determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING M. VON; FERNANDES F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; SANEPAR, 2001. 484 p.
2. BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, V.C.; MOCHIDA, G.; MARIN, L.M.K.S. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região Metropolitana de Curitiba. Aids, v.2, n.1, México, 2009.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: maio de 2011.
4. COELHO, M.A.M. Contribuição ao estudo da carbonatação e retração em concretos com elevados teores de escória de alto-forno. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 2002. 180f.
5. DRAPER, N.R.; SMITH JR., H. Applied regression analysis. New York: John Wiley, 1998. 706 p.
6. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
7. MACHADO, M. F. S.; FIGUEIREDO, R. F.; CORAUCCI FILHO, B. Produção brasileira de lodos de esgoto. Sanare, v.22, n.22, p.66-74, 2004.
8. MARQUES, R. MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R. de. (Ed). Manual de diagnostico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2 ed. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2003. p. 82-102.
9. MARIN, L.M.K.S.; BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C.V.; CARAFINI, C.; LIMA, R.M.; SERRAT, B.M.; MOCHIDA, G. Determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino em solos da região metropolitana de Curitiba. Nota técnica. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro,, v.12, n.2, p. 113-118, abr/jun/2010.
10. MATOS, A.T.; FIA, R.; AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses de lodo de esgoto caçado. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 13, p. 287-299, 2005.
11. MELLO, F.A.F. et al. Fertilidade do solo. 2a. ed. São Paulo: Nobel, 1984.
12. MOTTA, A.C.V.; LIMA, M.R. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. de. (Ed.). Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. p. 191-232.
13. NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D. A. S.; MELLO, E.E.C. & OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. R. Bras. Ci. Solo, 28:385-392, 2004.
14. PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA 021/09. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, n. 7962, p. 13-16, 2009.
15. SERRAT, B.M.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A.C.V.; POGGERE, G.C.; SILVA, L.A.T.P.; ANDREOLI, C.V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino: Uma análise comparativa com calcário para os solos de Umuarama, Pato Branco e Pinhais (PR). VII Simpósio Interamericano de Biossólidos. Campinas, SP. Resumos ,2010.