

XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

"Distribuição espacial de fósforo num Latossolo que recebeu lodo de esgoto e adubação mineral e sua relação com outros atributos químicos"

VANESSA LEONEL COSTA⁽¹⁾, ISABELLA CLERICI DE MARIA⁽²⁾, OTÁVIO ANTONIO CAMARGO^(2,3) & CÉLIA REGINA GREGO⁽⁴⁾

RESUMO – O cálculo da quantidade do lodo de esgoto para aplicação no solo em função da quantidade de N necessária para o desenvolvimento das culturas pode alterar o comportamento do fósforo (P) em virtude de sua acumulação no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial do P num Latossolo cultivado com milho, onde foram feitas seis aplicações anuais de lodo de esgoto (LE) em comparação à adubação mineral (AM). Realizou-se uma amostragem sistemática nos dois tratamentos no final do ciclo da cultura. Nestas amostras, foram determinados os teores de P-Resina, P-Mehlich I, matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) bem como calculados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Em LE observou-se distribuição aleatória do P na parcela contrastando com o tratamento AM que apresentou as maiores concentrações desse nutriente na parte inferior do talhão. O P esteve mais correlacionado com a matéria orgânica do que com quaisquer dos outros atributos químicos estudados.

Palavras-Chave: (resíduo orgânico, eutrofização, variabilidade espacial)

Introdução

A utilização agrícola de lodo de esgoto como uma alternativa de disposição desse resíduo no ambiente é uma prática bastante conveniente, seja pela reciclagem dos macronutrientes e micronutrientes presentes e essenciais às plantas (N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), redução dos riscos de erosão, aumento da CTC e melhora na retenção e infiltração de água em virtude da adição de matéria orgânica; seja por reduzir a quantidade de lodo nos aterros sanitários, aumentando o tempo de vida útil dessas áreas.

No entanto, a quantidade de lodo a ser aplicada no solo é usualmente feita em função do nitrogênio requerido pelas culturas [4] e [14] e nos limites de acumulação de metais no solo [4], sem, no entanto, considerar a concentração dos outros nutrientes no resíduo, os quais são introduzidos em maiores ou menores

quantidades, dependendo da composição do lodo. O acúmulo de nutrientes no solo, especificamente o P, tem sido apontado como a causa da degradação de mananciais, sendo este elemento o agente limitante da eutrofização das águas superficiais [14].

A transferência de P para o ecossistema aquático ocorre pela ação do processo erosivo e pelo transporte via escoamento superficial de sedimentos ricos em P e de P dissolvido na água da chuva [13]. Em adição a matéria orgânica pode agir indiretamente na redução da capacidade de retenção de P do solo com o efeito de ácidos orgânicos bloqueando os sítios de adsorção, o que contribui para aumentar as perdas pela enxurrada [8]. O excesso de P nas águas próximas às áreas agrícolas tornou-se corriqueiro [9], o que tem conduzido de certa forma à contestação da quantidade e do método de aplicação do lodo de esgoto, visto que pelo fato da razão N/P do resíduo ser mais baixa do que a capacidade de remoção das plantas [4] e [14], o acúmulo de P no solo torna-se inevitável. Diante dessa situação, pesquisas de longo prazo são necessárias para a avaliação do comportamento do P no solo e adoção de práticas de manejo mais adequadas que possam aproveitar ao máximo os benefícios agrônômicos da reciclagem desse resíduo.

A distribuição de nutrientes no solo pode ser avaliada por meio de ferramentas geoestatística, as quais permitem estudar a variabilidade espacial e estimar, de forma não tendenciosa, a variância mínima de valores dos nutrientes em pontos não amostrados [17], podendo dessa forma, serem utilizadas como uma ferramenta no monitoramento ambiental de áreas que poderiam contribuir para um aumento dos teores de P nos corpos de água.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição do P no solo num Latossolo Vermelho eutrófico cultivado com milho onde foram feitas seis aplicações anuais de lodo de esgoto em comparação com a utilização de adubação mineral.

Material e Métodos

A variabilidade do P no solo foi avaliada em duas

⁽¹⁾ Mestra pelo curso de Agricultura Tropical e Subtropical do Instituto Agronômico de Campinas. E-mail: van_leca@yahoo.com.br

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agronômico (IAC), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Av. Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP, CEP 13020-902. E-mail: icdmaria@iac.sp.gov.br; ocamargo@iac.sp.gov.br

⁽³⁾ Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Pesquisadora da Embrapa, Centro de Pesquisa de Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão. CEP: 13070-115, Campinas, SP. E-mail: crgrego@cpnm.embrapa.br
Parcialmente financiado por FAPESP 01/10617-8.

parcelas (100m²), uma tratada com lodo na quantidade suficiente para suprir em duas vezes a dose necessária de N para a cultura de milho (média de 20Mg de lodo/ha) e adubação complementar de 17kg de K₂O/ha (LE) e outra com formulado N-P-K (4,8kg de N/ha, 48kg de P₂O₅/ha, 17kg de K₂O/ha) e 165kg de N/ha via uréia (AM), instaladas num Latossolo Vermelho eutroférico argiloso com declividade de 10% localizado no Centro Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas, SP. A composição química média do lodo de esgoto analisado conforme métodos descritos em [12] e aplicado no decorrer dos anos experimentais está apresentada na tabela 1. Este manejo foi realizado anualmente, antes do plantio do milho, de 2001 a 2006. No final do ciclo da cultura, maio de 2007, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-0,10m de forma sistemática, com espaçamento de 1,0m x 1,0m, num total de vinte e uma amostras nas partes superior e inferior dos canteiros. Na parte intermediária, onde se esperavam menores concentrações de fósforo em virtude do carreamento desse nutriente, pelas enxurradas, para a parte inferior do talhão, coletaram-se vinte e sete amostras espaçadas de 1,0m x 1,0m e oito espaçadas de 1,5m x 1,5m perfazendo um total de 77 amostras em cada canteiro (Figura 1). Em todas as amostras de solo (< 2mm) foram extraídos os teores de P-Resina, Mehlich I e avaliados o pH_{CaCl2}, os teores de K, Ca, Mg, MO e H+Al segundo [12] e calculados os valores de SB, CTC e V%.

Para a análise da distribuição espacial do P nas áreas LE e AM foram utilizadas ferramentas geoestatísticas, as quais incluíram o cálculo do semivariograma para análise da dependência espacial e a *krigagem* para interpolação dos atributos do solo, que apresentaram dependência espacial, nos locais não amostrados, sem tendência e com variância mínima [17]. A interpolação dos dados das variáveis que não apresentaram dependência espacial foi feita utilizando-se o método de interpolação linear. Realizaram-se, também, correlações simples entre o P disponível (P-resina e Mehlich I) e os demais atributos químicos do solo. A análise da correlação entre as amostras foi realizada pelo programa computacional AVARION [18] e os mapas pelo SURFER 7.0.

Resultados e Discussão

Os atributos MO, H+Al, CTC e pH apresentaram baixa variabilidade tanto em LE como em AM. A V% enquadrou-se nessa classificação somente em AM (Tabela 2). Para os demais atributos as variabilidades foram classificadas como sendo moderadas e altas conforme critério de [6]. A heterogeneidade dos atributos dificulta ou em alguns casos impossibilita o ajuste dos modelos teóricos às semivariâncias calculadas [16] o que sugere a necessidade de um maior número de amostras mesmo no caso de pequenas áreas [7].

Todos os atributos em LE apresentaram valores de coeficientes de assimetria e curtose próximos de uma distribuição normal. Em AM a normalidade foi observada para P-resina, MO, K, SB, CTC, Ca e V% (Tabela 2). A não normalidade dos dados não é um empecilho para a

aplicação da geoestatística, a não ser que a distribuição apresente extremidades muito alongadas. A estimativa por krigagem apresenta melhores resultados quando satisfeita a normalidade dos dados [3].

Os atributos Ca, Mg e SB em LE, mostraram dependência espacial de grau moderado e V % alto, sendo o modelo esférico melhor ajustado às semivariâncias desses os atributos (Tabela 2). Para as demais variáveis não houve dependência (efeito pepita puro) e este resultado pode estar relacionado com a forma de disposição do lodo na parcela. Foram colocadas porções ao acaso sobre a superfície para posterior incorporação, resultando numa distribuição irregular do adubo na área de modo que pontos próximos entre si apresentassem concentrações bastante distintas. Em AM, a dependência espacial de grau moderado foi observada para P-Mehlich I, P-Resina, MO, H+Al, Ca, Mg, SB, V%, CTC e pH, sendo o modelo esférico ajustado para as três primeiras e gaussiano para as demais variáveis. O efeito pepita puro foi observado apenas para o atributo K (Tabela 2). A dependência espacial verificada na maior parte dos semivariogramas em AM é compatível com manejo realizado neste tratamento, no qual a distribuição do adubo mineral em linha e em espaçamento regular pode ter contribuído para tornar os pontos próximos entre si mais semelhantes do que os mais distantes, conferindo aos semivariogramas uma estrutura de crescimento da semivariância em função da distância até um certo alcance e patamar [7].

A aplicação do LE resultou em aumento na quantidade de P, MO, da CTC e da H+Al e redução no K, Ca, Mg, na SB, na V% e no pH do solo quando comparado com AM (Tabela 2). O incremento de P em LE pode ocasionar a saturação dos sítios de adsorção desse elemento no solo [4], ainda que este apresente consideráveis teores de oxihidróxido de Fe e de Al e argilominerais. Nessa situação, a capacidade de retenção de P do solo é reduzida [4], o que aumentaria sua transferência para a solução e as perdas por escoamento superficial da água da chuva. O aumento da CTC pode ser atribuído aos maiores teores de MO adicionado via lodo, tendo os dois atributos uma relação negativa com a adsorção de P. A CTC diminui a quantidade de sítios positivos do solo e necessários à adsorção [15] e a MO libera, por meio do processo de mineralização, ácidos orgânicos que competem pelos mesmos sítios de adsorção de P [8] e [10], diminuindo em ambos os casos a fixação desse nutriente. Por outro lado, a matéria orgânica pode contribuir para aumentar a retenção de P por intermédio de cátions metálicos tais como Al, Fe e Ca [8] e [10].

O aumento da acidez do solo avaliada pela concentração de H+Al e redução dos valores de pH pode estar relacionado com a degradação da MO, processos de trocas e de lixiviação de bases [10] e nitrificação do nitrogênio presente no lodo [1]. Em LE, o valor do pH foi reduzido para 4 quando comparado com AM que apresentou pH 6 e a acidez potencial foi cerca de 6 vezes maior do que AM. O pH inferior a 5,5 e os teores elevados de H+Al podem contribuir em partes para a

dissociação e aumento das concentrações de Al na solução do solo, e tanto o H⁺ como o Al³⁺ podem competir pelos sítios de adsorção com os cátions trocáveis [10], o que explica a redução do Ca, Mg, K, SB e V%. O K, por ser muito solúvel, perde-se facilmente pelo escoamento superficial da água da chuva ou lixiviação pelo perfil do solo.

A acidez do solo tratado com lodo de esgoto também foi observada por [1] e [5]. Neste experimento os lodos utilizados foram condicionados com polímeros, o que confere aos resíduos características ácidas, contrariamente as características básicas da cal. Em ambos os casos há formação de minerais fosfatados mais ou/ menos lábeis, o que poderia contribuir para reduzir a eficiência do lodo como fonte de P. No entanto, em solos ácidos os fosfatos de cálcio são menos estáveis do que os fosfatos de ferro e alumínio, e podem sofrer solubilização liberando P para a solução [11]. Além do mais, solos ácidos favorecem a retenção do P por propiciar reações de complexação com os oxihidróxidos de ferro e alumínio e precipitação com o Al em solução [14]. Neste caso, as perdas por ocasião de processos erosivos são agravadas [13] uma vez que o maior teor de P no solo poderia resultar em aumento do P adsorvido arrastado pela enxurrada no tratamento LE, comprometendo dessa forma a qualidade ambiental por aumentar os riscos de eutrofização.

Nos mapas de LE, para os atributos P-Mehlich I, P-Resina, MO, H+Al, K, CTC e pH não se observou tendências, e sim uma distribuição aleatória dessas variáveis. Já para SB, Ca, Mg e V% observou-se a tendência dos maiores teores para a parte inferior do talhão. O mesmo comportamento foi notado para P-Resina, P-Mehlich I, MO, Ca, Mg, SB, V% CTC, pH em AM (Figura 1).

Correlação linear e significativa foi observada entre o P e alguns atributos do solo nos dois tratamentos, entretanto os coeficientes inferiores a 50% não permitem uma avaliação mais clara (Tabela 3). De modo, geral o P-Resina esteve mais correlacionado com a MO no tratamento LE do que no tratamento AM e, tal correlação pode ser observada pela similaridade das manchas dessas variáveis nos mapas.

Conclusões

A aplicação de lodo de esgoto aumenta os teores trocáveis desse elemento no solo, mas não ocasiona maior arraste de P para a parte inferior das parcelas.

O P está correlacionado com a MO no solo com aplicação do lodo.

Houve dependência espacial para o P nas parcelas com adubação mineral, apresentando maiores concentrações na parte inferior do talhão, contrastando com a distribuição aleatória no P no solo com aplicação de lodo.

Referências

- [1] BOEIRA, R.C.; SOUZA, M.D. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. *Revista Brasileira de ciência do Solo*, v. 31, p.581-590, 2007.
- [2] CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-Scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. *Soil Science Society American Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- [3] CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991. 900 p.
- [4] ELLIOTT, H.A.; O'CONNOR, G.A. Phosphorus management for sustainable biosolids recycling in the United States. *Soil Biology & Biochemistry*, v.39, p.1318-1327, 2007.
- [5] GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em Latossolo eutroférrico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577, 2004.
- [6] GOMES, F.P. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. Potatos, 1984, 160p.
- [7] GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.169-177, 2005.
- [8] GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; BLAMEY, F.P.C.; MOODY, P.W. Do decomposing organic matter residues reduce phosphorus sorption in highly weathered soils? *Soil Science Society American Journal*, v.69, p.1405-1411, 2005.
- [9] LOPES, F.; MERTEN, G.H.; FRANZEN, M.; GIASSON, E.; HELFER, F.; CYBIS, L.F.A. Utilização de P-Index em uma bacia hidrográfica através de técnicas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, v.11, p.312-317, 2007.
- [10] NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. SP, 2007. p.471-550.
- [11] PENN, C. J.; SIMS, T. J. Phosphorus forms in biosolids-amended soils and losses in runoff: effects of wastewater treatment process. *Journal of Environmental Quality*, v.31, p.1349-1361, 2002.
- [12] RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- [13] SHARPLEY, A. N. The enrichment of soil phosphorus in runoff sediments. *Journal of Environmental Quality*, v.9, p. 521-526, 1980.
- [14] SHARPLEY, A. N. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. *Ecological Engineering*, v.5, p.261-279, 1995.
- [15] SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P; LIMA, J.M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo-verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-escuro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, 1997. Disponível em: <http://webnotes.sct.embrapa.br>
- [16] VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas-SP. *Bragantia*, Campinas, v.56, p.181-190, 1997.
- [17] VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E. G. R. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.
- [18] VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. *Handbook for geoestatistical analyses of variability in soil and climate data*. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.1-45, 2002.

Tabela 1. Valores médios da composição química do lodo de esgoto utilizado entre os anos de 2001 a 2006.

pH	C orgânico	N total	P	Al	Fe	Ca	K
----- g/kg -----							
6,9	270	29	9	13	12	11	3

Tabela 2. Parâmetros estatísticos e de ajuste dos semivariogramas dos atributos do solo nos tratamentos LE e AM.

Variável	Média	Min - Máx	Variância	CV (%)	DP	A	C _s	C _o	C ₁	a	Modelo	GD (%)
LE												
P-Mehlich I (mg/dm ³)	114	48-203	1040	28	32	0,24	0,19	-	-	-	EPP	-
P-Resina (mg/dm ³)	163	64-356	3348	36	58	0,94	1,61	-	-	-	EPP	-
MO (g/dm ³)	40	26-53	25	13	5	-0,03	0,61	-	-	-	EPP	-
H+Al (mmol _e /dm ³)	108	52-150	475,8	20	22	-0,29	-0,34	-	-	-	EPP	-
K (mmol _e /dm ³)	2,7	1,1-5,6	0,8	34,5	0,9	0,76	0,55	-	-	-	EPP	-
Ca (mmol _e /dm ³)	19	6-44	50	38	7	0,79	1,13	36	19	10	Esférico	65, moderada
Mg (mmol _e /dm ³)	5	1-17	8	59	3	1,52	2,92	6	4	14	Esférico	60, moderada
V %	20	5-45	68	41	8	0,76	0,78	59	14	9	Esférico	81, alta
SB (mmol _e /dm ³)	26,5	8,7-63,1	102	38,0	10	0,96	1,49	76	37	11	Esférico	67, moderada
CTC (mmol _e /dm ³)	134,9	87,5-175,6	350,5	13,9	19	-0,31	-0,44	-	-	-	EPP	-
pH	4	3,7-4,5	0	4	0,2	0,68	0,41	-	-	-	EPP	-
AM												
P-Mehlich I (mg/dm ³)*	42	20-97	334	43	18	1,22	0,95	0,79	0,34	8	Esférico	70, moderada
P-Resina (mg/dm ³)	57	23-119	566	42	24	0,82	0,03	400	269	13	Esférico	60, moderada
M.O. (g/dm ³)	23	20-28	2	6	1,5	0,42	-0,12	1,4	0,9	5	Esférico	61, moderada
H+Al (mmol _e /dm ³)*	17	12-28	6	14	2,5	1,35	3,76	0,61	0,63	9	Gaussiano	49, moderada
K (mmol _e /dm ³)	4,1	1,7-6,7	1,1	26	1,0	0,21	-0,08	-	-	-	EPP	-
Ca (mmol _e /dm ³)	41	20-74	104	25	6	-0,56	0,40	50	95	13	Gaussiano	34, moderada
Mg (mmol _e /dm ³)*	23	12-43	36	26	6	1,05	1,34	0,65	0,6	10	Gaussiano	52, moderada
V %	78	59-91	39	8	6	-0,90	1,46	20	30	11	Gaussiano	40, moderada
SB (mmol _e /dm ³)	67,1	35,5-121,5	266,3	24,3	16	0,65	0,75	130	247	12,8	Gaussiano	34, moderada
CTC (mmol _e /dm ³)	84,7	58,6-133,5	210,1	17,1	14	0,78	0,75	120	183	14,4	Gaussiano	40, moderada
pH	6	5,1	6,4	4	0,3	-1,34	2,57	0,04	0,05	8,5	Gaussiano	44, moderada

* variáveis transformadas pelo logaritmo para a análise da semivariância. LE = 20mg de lodo /ha, AM = adubo mineral, P = fósforo disponível, MO = matéria orgânica, H+Al = acidez potencial, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, V% = saturação por bases, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca catiônica, CV = coeficiente de variação, DP = desvio padrão, A = assimetria, C_s = curtose, C_o = efeito pepita, C₁ = variância espacial, a = alcance, GD = grau de dependência espacial (C_o/C_o+C₁)*100 conforme sugerido por [2].

Tabela 3 – Matriz de correlação entre P e os atributos do solo para o tratamento LE e o AM

Tratamento	P mg/dm ³	MO g/dm ³	H+Al	K	Ca	Mg mmol _e /dm ³	V%	SB	CTC	pH
LE	Resina	0,62*	0,25*	0,04	0,38*	0,27	0,07	0,28*	0,42*	-0,01
	Mehlich I	0,52*	0,37*	-0,11	0,14	0,22	-0,12	0,1	0,49*	-0,24*
AM	Resina	0,16	-0,09	0,13	0,45*	0,23*	0,26*	0,35*	0,37*	0,22*
	Mehlich I	-0,04	-0,19	-0,09	0,23*	0,13	0,14	0,17	0,17	0,17

LE = 20mg de lodo /ha, AM = adubo mineral, P = fósforo disponível, MO = matéria orgânica, H+Al = acidez potencial, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, V% = saturação por bases, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca catiônica. * correlação significativa a 5% de probabilidade.

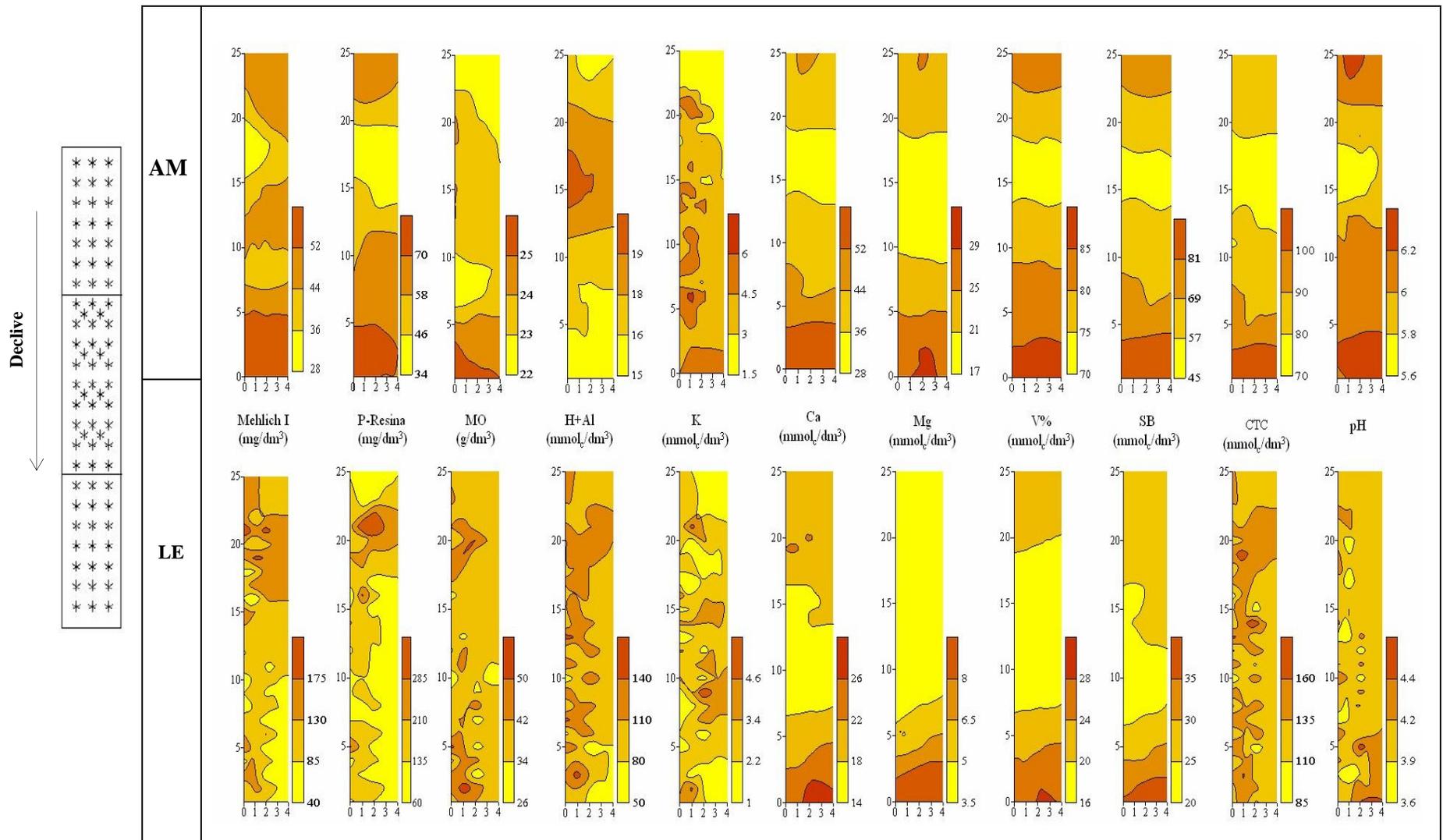


Figura 1. Esboço do esquema de amostragem e mapas dos atributos químicos do solo para os tratamentos LE e AM.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.