

CARACTERIZAÇÃO MINERAL DE SOLOS AGRÍCOLAS UTILIZANDO A ANÁLISE INSTRUMENTAL POR ATIVAÇÃO COM NEUTRONS

Primavesi, O.¹; Armelin, M.J.A.²; Piasentim, R.M.²; Primavesi, A.C.P.A.¹;
Cruvinel, P.E.³.

(1) EMBRAPA-CPPSE, CP 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP, odo@cppse.embrapa.br;

(2) Supervisão de Radioquímica, IPEN-CNEN/SP, CP 11.049, CEP 05422-970,
São Paulo, SP, marmelin@curiango.ipen.br;

(3) EMBRAPA-CNPDIA, CP 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP,
cruvinel@cnpdia.embrapa.br; Projeto Embrapa 11.0.95.661, CNPq.

ABSTRACT

Multielemental characterization of the total content of some non conventionally used elements in two Oxisols, amended with limestone and mineral fertilizer, used for agricultural experimentation purposes, were performed with the instrumental neutron activation analysis technic, followed by gama ray spectrometry. Nineten elements were analised, some of which could cause interference in intensive production systems, and need to be monitored. The instrumental neutron activation analysis, followed by gama ray spectrometry, seems to be a potencial tool to characterize the total content of non conventionally used elements in soil. The Ta, Co, Th, Zn, Ho, Yb, Eu, and Sb levels point to a granitic origin of soils, the Pr and La levels to a basaltic introduction, and the Sc, Ca, Fe, Cr and U contents a blend of both minerals. The high levels of As and W seem to come from the agricultural inputs introduced in the environment. Soils are very poor in K and Na.

Keywords: Soils, multielementar analysis, neutron activation.

RESUMO

São apresentados os resultados analíticos multielementares do conteúdo total de alguns elementos não utilizados convencionalmente para caracterização de dois oxissolos que receberam duas doses de calcário e fertilizantes minerais.

utilizados em experimentação agrícola, empregando a técnica de análise instrumental por ativação com neutrons, seguida pela espectrometria de radiação gama. Foram analisados 19 elementos, dentro os quais ocorrem alguns que poderão interferir em sistemas intensivos de produção, e necessitam ser monitorados. A técnica de análise por ativação com neutrons, seguida pela espectrometria de radiação gama mostrou ser ferramenta potencial para caracterizar o conteúdo total de alguns elementos não convencionais no solo. Os teores de Ta, Co, Th, Zn, Ho, Yb, Eu, e Sb caracterizaram a origem arenítica dos solos, os teores de Pr e La a introdução de material basáltico, e os teores de Sc, Ca, Fe, Cr e U uma combinação de ambos. Os valores elevados de As e W parecem ser originados dos insumos agrícolas introduzidos no ambiente. Ocorrem teores totais extremamente baixos de K e Na nos solos.

Palavras-chave: Solos, análise multielementar, ativação com neutrons.

1. Introdução

Sistema de produção agrícola competitivos, exigem conhecimento e controle mais amplo das características químicas dos recursos naturais gerenciados, com a finalidade de otimizar seu uso e o processo de produção, evitando excessos ou deficiências imprevisíveis. Dentre os recursos naturais estão os solos, cujas características químicas totais necessitam ser estudadas, em casos especiais, tanto para atender a demanda por uma agricultura de precisão, como para evitar que em sistemas intensivos de produção, que requerem uso mais intenso de insumos, ocorram desequilíbrios minerais. Normalmente utiliza-se a caracterização dos minerais facilmente disponíveis para as plantas. Mas em estudos específicos, como o conhecimento do potencial de fornecimento de minerais pelo solo, o estudo da presença de minerais aplicados na forma de insumos agrícolas de baixa solubilidade (calcários, fosfatos naturais), o balanço mineral em estudos de ecossistemas naturais (Golley et al., 1978) e alterados por ação do homem, o teor total presente pode ser de grande valia técnica.

A caracterização química dos solos, normalmente restringe-se aos minerais nutrientes essenciais disponíveis (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu, Fe, Mn e outros) para a

nutrição mineral de plantas (Malavolta, 1980) e animais, e eventualmente é ampliada para os denominados elementos tóxicos não nutrientes essenciais para vegetais de fácil disponibilidade (As, Br, Cr, Cd, Hg, Pb e outros). Dos aproximadamente 90% dos elementos encontrados na crosta terrestre, somente 10 (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti e P) representam 99% do peso. Os outros 80 e tanto elementos, com um total de menos de 0,14%, chamados de elementos traços, podem apresentar papel na nutrição vegetal (micronutrientes essenciais e úteis) e animal, com poder de influência fora de proporção em relação à sua abundância (Moniz, 1975, Brooks, 1977). Quando se considera o gerenciamento de sistemas intensivos de produção, deve-se estar atento para qualquer possibilidade de aumento de minerais não desejáveis, o que exige que se lance mão de métodos analíticos multielementares, por vezes não convencionais, para sua determinação de modo confiável.

Devido à alta sensibilidade e à capacidade de análise multielementar, a técnica de análise por ativação com neutrons (AANI), seguida pela espectrometria de radiação gama, oferece uma opção analítica poderosa para verificar a composição química das mais diversas matrizes

(Ehmann et al., 1996; Armelin et al., 1992; Glascock et al., 1994).

2. Objetivo

Foi determinar as concentrações dos elementos K (potássio), Ca (cálcio), Fe (ferro), Na (sódio), Zn (zinco), Co (cobalto), Cr (cromo), Th (tório), Sc (escândio), Ta (tântalo), U (urânio), W (tungstênio), Sb (antimônio), La (lantânio), Eu (europio), As (arsênio), Pr (promécio), Yb (itérbio) e Ho (holmio) em dois solos submetidos à calagem, utilizando a técnica de análise instrumental por ativação com neutrons.

3. Materiais e Métodos

Na área experimental de estudos de fertilização mineral de forrageiras e adubos verdes, e de estudos de perdas de cálcio por lixiviação, do Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste (Embrapa Pecuária Sudeste), em São Carlos, SP, foram coletadas amostras compostas de 20 subamostras de dois oxissolos desenvolvidos sob vegetação de cerrado, e clima tropical de altitude:

A. Latossolo Vermelho-Amarelo (LV):

1. coletadas em setembro de 1993, sem adubos, camada 0-10 cm,
2. coletadas em maio de 1994, com nível 1 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade,
3. coletadas em dezembro de 1994, com nível 1 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade,
4. coletadas em maio de 1994, com nível 2 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade,
5. coletadas em dezembro de 1994, com nível 2 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

B. Latossolo Vermelho-Escuro (LE):

6. coletadas em setembro de 1993, sem adubação, camada 0-10 cm,
7. coletadas em maio de 1994, com nível 1 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade,
8. coletadas em dezembro de 1994, com nível 1 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade,
9. coletadas em maio de 1994, com nível 2 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade, e
10. coletadas em dezembro de 1994, com nível 2 de adubação, camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

O nível de adubação correspondeu à aplicação, em superfície total, de:

- a) nível 1 no LV: 2,4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 85 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo;
- b) nível 2 no LV: 4,1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 170 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo;
- c) nível 1 no LE: 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 141 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo; e
- d) nível 2 no LE: 3,2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 254 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo.

Da amostra composta de terra de cada tratamento, secas ao ar, foram retiradas 300 g, colocadas em sacos de plástico, identificadas e enviadas para o Laboratório de Radioquímica do IPEN.

3.1 Preparo das amostras:

Aliquotas de terra da ordem de 300 mg foram

pesadas e transferidas para envelopes de polietileno, previamente tratados com HNO₃ p.a. 1:5, para eliminação de possíveis impurezas.

3.2 Preparo de padrões

Os padrões foram preparados a partir de soluções obtidas pela dissolução dos elementos ou de seus compostos espectroscopicamente puros. Alíquotas de 25 µl ou 50 µl, dependendo da concentração dessas soluções, foram transferidas, por meio de micropipetas, para papel de filtro Whatman n° 41, de aproximadamente 1 cm² de área.

Os padrões preparados apresentaram as seguintes massas: K (395 µg), As (11,4 µg), Ca (1731,7 µg), Cr (2,4 µg), Co (980 ng), Eu (2,2 µg), Fe (205 µg), Ho (8,89 µg), La (25,5 µg), Na (67,44 µg), Pr (16,45 µg), Sb (18,48 µg), Sc (14,21 µg), Ta (25,36 µg), Th (5,69 µg), U (2,61 µg), W (25 µg), Yb (25,34 µg) e Zn (24,3 µg).

3.3 Irradiação e medida da radiação gama

Para efeito de medida da radiação as amostras foram inseridas em lotes de 8 a 10.

Cada lote de amostras foi irradiado juntamente com o padrão de cada elemento, dentro de um recipiente de alumínio, sob um fluxo de neutrons térmicos da ordem de 10¹² n cm⁻² s⁻¹, por um período de 8 horas, no reator IEA-R1. Após a irradiação, amostras de terra e padrões foram transferidos para recipientes adequados para a medida da radiação gama (contagem).

O espectro da radiação gama das amostras foi medido duas vezes. Na primeira vez, cada amostra foi medida por 2 horas após um tempo de resfriamento de 3 dias, para a medida dos fotopicos correspondentes aos seguintes radionuclídeos: ⁷⁶As em 559 keV, ¹⁶⁶Ho em 80 keV, ⁴²K em 1525 keV, ¹⁴⁰La em 1596 keV, ²⁴Na em 1368 keV, ¹⁴²Pr em 1575 keV, ¹²²Sb em 564 keV, ²³⁹Na em 277 keV, ¹⁸⁷W em 686 keV, ¹⁷⁵Yb em 396 keV. Com esse tempo de esfriamento foram medidos os padrões desses elementos, por aproximadamente 10 minutos cada.

A segunda medida das amostras foi feita

depois de um tempo de resfriamento aproximado de 10 dias. Cada amostra foi contada por 2 horas para a medida dos fotopicos correspondentes à radiação gama do ⁴⁹Ca em 159 keV, ⁵¹Cr em 320 keV, ⁶⁰Co em 1332 keV, ¹⁵²Eu em 1408 keV, ⁵⁹Fe em 1098 keV, ⁴⁶Sc em 889 keV, ¹⁸²Ta em 1220 keV, ²³³Pa em 312 keV e ⁶⁵Zn em 1115 keV.

Realizadas as contagens, as áreas sob os fotopicos dos radionuclídeos de interesse das amostras foram comparadas com as respectivas áreas sob os fotopicos dos padrões para a determinação das concentrações dos elementos analisados.

O equipamento usado para as medidas da radiação gama foi um detector de Ge hiperpuro da EG & ORTEC, modelo 20190P, com resolução de 1,82 keV para o fotopico de 1332 keV do ⁶⁰Co. Acoplado ao detector tinha-se um sistema eletrônico constituído de BUFFER-918A de 8000 canais, marca EG & ORTEC, amplificador, fonte de alta tensão e microcomputador. A função do microcomputador foi analisar os dados armazenados na memória do multicanal, através de programa em linguagem "Turbo Basic".

4. Resultados e discussões

Foi verificado que o método analítico empregado, apresenta a seguinte sensibilidade decrescente para os elementos determinados (em cps µg⁻¹): Ho (147,2), Sc (70,7), As (29,9), La (27,9), Yb (25,2), W (18,5), U (13,8), Th (13,8), Eu (7,9), Na (4,4), Ta (3,8), Co (3,6), Cr (1,2), Pr (1,0), Sb (0,485), Zn (0,12), K (0,036), Fe (0,0083) e Ca (0,0018). A determinação do cálcio apresenta um agravante, que é a interferência de outros radionuclídeos presentes no solo sobre o fotopico de ⁴⁷Ca possível de ser gerado, embora esta interferência tenha sido minimizada pelo tempo de esfriamento. O resultado para Zn parece não ser confiável porque o fotopico do ⁶⁵Zn (1115 keV) pode sofrer interferência espectral por parte do fotopico do ⁴⁶Sc (1120 keV). O Mo embora tenha sido detectado não foi quantificado

porque o solo apresentou urânio.

Analisando os dados apresentados por Mason (1971), Tabela 3, verifica-se que os teores de Ta, Co, Th, Zn, Ho, Yb, Eu, e Sb

um intenso interferente, nas condições do trabalho. Outros elementos que poderiam ser determinados pelo método empregado são: Ti, V e Mn.

Tabela 1. Teor de minerais, em 2 épocas, 2 níveis de fertilidade, e diferentes profundidades de LV.

mês	9/93						5/94						12/94												
	0-10		20		40		60		80		0-10		20		40		0		80		100				
	Nível 1 de fertilidade																								
Ta	1,9	2,2	1,9	3,7	3,2	3,0	2,4	2,1	2,5	2,4	3,0	2,9	2,5	2,2	2,5	2,6	3,3	2,5	2,2	2,3	2,9	3,7	2,2		
Co	2,1	2,7	2,5	2,9	2,9	3,2	2,0	2,1	2,3	2,9	3,7	2,2	2,0	2,1	2,3	2,9	3,7	2,2	2,0	2,1	2,3	2,9	3,7	2,2	
Pr	2,2	2,2	1,8	2,2	2,1	2,3	4,3	4,2	4,4	5,2	6,1	5,0	4,5	4,6	4,0	4,4	4,8	5,1	24,8	7,6	30,8	8,3	10,4	31,7	
As	4,5	4,6	4,0	4,4	4,8	5,1	7,4	41,5	9,1	11,2	13,5	9,5	9,1	14,3	11,8	18,6	13,8	18,2	17,9	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9
Sc	6,7	7,8	7,2	8,7	11,6	12,7	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9	
Th	9,1	44,3	39,1	12,0	9,6	10,3	7,4	41,5	9,1	11,2	13,5	9,5	9,1	14,3	11,8	18,6	13,8	18,2	17,9	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9
La	11,7	14,2	11,8	18,6	17,7	18,8	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9	14,8	12,0	18,6	13,8	18,2	17,9	
Zn	14,0	23,0	23,0	15,0	13,0	15,0	9,0	15,0	12,0	12,0	19,0	15,0	9,0	15,0	12,0	12,0	19,0	15,0	9,0	15,0	12,0	12,0	19,0	15,0	
Ca	14,3	22,7	20,4	16,8	23,3	25,5	17,0	20,8	17,8	18,0	22,1	18,9	17,0	20,8	17,8	18,0	22,1	18,9	17,0	20,8	17,8	18,0	22,1	18,9	
Fe	25,0	29,3	27,0	30,5	33,0	36,0	31,9	27,6	31,0	29,6	34,9	37,5	31,9	27,6	31,0	29,6	34,9	37,5	31,9	27,6	31,0	29,6	34,9	37,5	
Na	38,6	48,0	37,4	41,7	40,4	39,8	37,2	40,0	38,1	46,5	47,7	38,1	37,2	40,0	38,1	46,5	47,7	38,1	37,2	40,0	38,1	46,5	47,7	38,1	
Cr	59,3	82,7	68,8	73,3	65,1	83,9	51,3	69,0	63,2	75,8	86,4	68,8	51,3	69,0	63,2	75,8	86,4	68,8	51,3	69,0	63,2	75,8	86,4	68,8	
K	214	242	204	151	147	224	193	205	176	217	459	189	193	205	176	217	459	189	193	205	176	217	459	189	
Ho	253	264	209	333	147	92	171	265	250	377	924	220	171	265	250	377	924	220	171	265	250	377	924	220	
Eu	323	302	331	435	371	400	309	359	384	359	539	379	309	359	384	359	539	379	309	359	384	359	539	379	
Sb	350	473	405	324	308	357	297	563	325	349	431	390	297	563	325	349	431	390	297	563	325	349	431	390	
W	794	890	711	900	940	1091	719	769	875	977	1187	957	719	769	875	977	1187	957	719	769	875	977	1187	957	
Yb	830	729	889	1128	1190	1313	975	1008	1200	1660	1408	975	975	1008	1200	1660	1408	975	975	1008	1200	1660	1408	975	
U	1140	1671	1325	1598	1581	1790	1306	1356	1345	1491	2811	1540	1306	1356	1345	1491	2811	1540	1306	1356	1345	1491	2811	1540	
	Nível 2 de fertilidade																								
Ta	1,9	2,3	2,8	2,1	2,3	2,5	2,5	2,0	2,4	2,7	2,5	2,7	2,1	2,8	3,0	2,0	2,4	3,3	2,7	2,4	2,7	3,1	2,7	3,0	
Co	2,1	2,8	3,0	2,0	2,4	3,3	2,7	2,4	2,7	3,1	2,7	3,0	2,1	2,8	3,0	2,0	2,4	3,3	2,7	2,4	2,7	3,1	2,7	3,0	
Pr	2,2	3,3	1,8	1,5	1,8	2,4	2,3	2,7	2,2	2,3	2,0	2,0	2,2	3,3	1,8	1,5	1,8	2,4	2,3	2,7	2,2	2,3	2,0	2,0	
As	4,5	3,9	4,6	4,1	4,0	4,7	4,4	3,9	4,1	5,0	4,9	4,9	4,5	3,9	4,6	4,1	4,0	4,7	4,4	3,9	4,1	5,0	4,9	4,9	
Sc	6,7	7,4	28,1	8,2	9,3	9,8	24,7	9,4	7,8	9,0	10,5	9,6	6,7	7,4	28,1	8,2	9,3	9,8	24,7	9,4	7,8	9,0	10,5	9,6	
Th	9,1	10,3	8,4	7,6	8,2	11,1	8,3	10,1	10,4	9,1	9,1	11,8	9,1	10,3	8,4	7,6	8,2	11,1	8,3	10,1	10,4	9,1	9,1	11,8	
La	11,7	15,0	14,7	14,9	14,9	19,6	16,8	19,9	15,7	16,5	12,8	14,7	11,7	15,0	14,7	14,9	14,9	19,6	16,8	19,9	15,7	16,5	12,8	14,7	
Zn	14,0	22,0	7,0	21,0	15,0	10,0	14,0	10,0	13,0	20,0	21,0	5,0	14,0	22,0	7,0	21,0	15,0	10,0	14,0	10,0	13,0	20,0	21,0	5,0	
Ca	14,3	14,3	17,7	13,4	17,0	21,2	16,4	15,1	15,7	15,0	19,3	28,5	14,3	14,3	17,7	13,4	17,0	21,2	16,4	15,1	15,7	15,0	19,3	28,5	
Fe	25,0	27,0	37,6	28,8	30,4	40,3	32,6	30,6	27,4	31,2	34,7	33,8	25,0	27,0	37,6	28,8	30,4	40,3	32,6	30,6	27,4	31,2	34,7	33,8	
Na	38,6	51,1	45,3	30,5	30,1	35,8	46,4	44,6	43,3	40,2	39,9	42,7	38,6	51,1	45,3	30,5	30,1	35,8	46,4	44,6	43,3	40,2	39,9	42,7	
Cr	59,3	58,8	84,5	58,4	53,4	100,5	50,8	67,9	69,0	68,9	111,9	92,4	59,3	58,8	84,5	58,4	53,4	100,5	50,8	67,9	69,0	68,9	111,9	92,4	
K	214	303	220	173	313	290	222	187	192	235	261	231	214	303	220	173	313	290	222	187	192	235	261	231	
Ho	253	284	172	236	236	146	260	93	342	477	595	286	253	284	172	236	236	146	260	93	342	477	595	286	
Eu	323	308	312	317	272	352	339	313	301	380	278	308	323	308	312	317	272	352	339	313	301	380	278	308	
Sb	350	307	321	298	324	311	232	270	311	343	303	582	350	307	321	298	324	311	232	270	311	343	303	582	
W	794	824	747	799	750	952	757	730	910	1014	1556	971	794	824	747	799	750	952	757	730	910	1014	1556	971	
Yb	830	864	1097	749	812	797	1026	998	1045	1359	1455	1408	830	864	1097	749	812	797	1026	998	1045	1359	1455	1408	
U	1140	1393	1485	1185	1200	1330	1387	1350	1525	1525	1360	1825	1140	1393	1485	1185	1200	1330	1387	1350	1525	1525	1360	1825	

Obs: Ca, Fe= mg g⁻¹; Na, Zn, Co, As, Cr, La, Pr, Sc, Th, K= µg g⁻¹; U, W, Yb, Eu, Ho, Sb=ng g⁻¹.

Tabela 2. Teor de minerais, em 2 épocas, 2 níveis de fertilidade, e diferentes profundidades de LE

mês	9/93		5/94				12/94				100	
	0-10	0-10	20	40	60	80	0-10	20	40	60		80
Nível 1 de Fertilidade												
Pr	1,5	1,2	1,7	2,1	1,8	2,0	1,0	2,6	2,0	2,4	1,8	2,0
Ta	1,9	1,8	2,0	2,5	2,3	2,3	1,8	2,4	2,1	2,4	2,5	2,1
Co	2,5	2,9	2,3	3,3	2,7	2,9	2,8	3,3	2,6	2,6	2,8	2,9
As	4,1	3,8	4,2	4,8	4,6	4,4	3,6	4,2	4,4	4,7	4,8	5,2
Sc	7,2	6,1	20,8	8,8	31,6	11,7	6,0	7,5	27,6	32,4	8,9	8,6
Th	33,7	7,1	6,1	4,3	8,2	7,8	6,9	8,6	7,9	8,6	7,8	10,2
La	15,6	12,3	13,8	15,6	20,9	18,0	11,4	13,9	15,5	20,9	16,5	14,9
Ca	24,5	15,1	14,5	25,6	19,1	18,1	14,2	17,4	20,1	19,2	15,3	18,6
Zn	15,0	19,0	8,0	14,0	15,0	15,0	15,0	21,0	14,0	12,0	13,0	11,0
Fe	24,6	24,4	28,5	32,0	30,4	34,3	24,4	28,7	30,2	31,0	28,9	28,5
Na	36,6	44,9	66,7	47,1	46,1	42,1	38,1	44,9	46,2	35,3	38,3	36,1
Cr	60,5	67,5	48,6	97,9	69,1	59,7	66,9	70,6	55,5	62,9	62,4	106,6
K	203	193	176	224	158	145	171	204	199	147	144	214
Ho	200	207	183	320	209	188	217	215	204	292	178	304
Eu	269	250	245	352	389	351	240	279	341	392	400	358
Sb	245	277	207	411	292	290	287	340	326	246	290	357
W	772	688	697	926	973	815	668	968	820	829	896	1011
Yb	594	959	1037	1102	998	986	853	1029	803	1276	755	830
U	1120	1192	1260	1828	1471	1517	1166	1342	1266	1453	1325	1431
Nível 2 de Fertilidade												
Pr	1,5	1,2	0,7	2,0	2,3	3,0	2,4	1,7	1,7	3,1	2,1	3,0
Ta	1,9	1,7	2,3	2,6	2,4	2,8	2,3	2,1	2,2	2,5	2,5	3,0
Co	2,5	2,7	3,5	3,1	2,9	3,3	2,8	3,0	3,1	3,0	3,1	3,1
As	4,1	3,5	4,3	4,7	7,2	5,1	4,2	4,6	4,2	4,3	4,9	5,2
Th	33,7	5,9	8,4	8,4	7,9	9,5	8,2	6,9	7,3	8,7	9,6	9,6
Sc	7,2	7,6	7,3	30,8	10,9	36,2	24,8	7,0	9,9	8,6	10,9	37,7
La	15,6	13,0	13,4	21,4	19,6	23,9	20,0	16,2	17,3	14,9	21,6	23,5
Ca	24,5	16,3	17,7	18,0	15,9	21,3	18,6	18,5	18,3	16,6	22,2	21,0
Fe	24,6	27,7	28,8	32,2	33,3	35,4	28,4	26,9	32,2	28,2	40,2	35,9
Na	36,6	37,5	43,0	40,9	38,1	37,9	66,3	37,9	50,4	37,1	47,9	46,1
Zn	15,0	10,0	23,0	13,0	4,7	22,0	21,0	14,0	15,0	13,0	14,0	14,0
Cr	60,5	58,6	77,6	64,8	69,9	78,6	67,1	56,1	63,9	80,2	73,3	82,1
K	203	232	233	174	171	195	226	180	175	175	228	169
Ho	200	138	242	206	99	238	165	294	67	302	297	255
Eu	269	258	256	387	337	477	338	316	342	317	408	496
Sb	245	280	348	304	321	374	278	299	281	323	358	315
W	772	714	724	951	1040	945	766	769	793	879	837	1111
Yb	594	794	845	1087	1207	1131	849	720	986	1107	1031	1210
U	1120	1098	1309	1309	1913	1544	1976	1146	1441	1403	1580	1665

Obs: Ca, Fe = mg g⁻¹; Na, Zn, Co, As, Cr, La, Pr, Sc, Th, K = µg g⁻¹; U, W, Yb, Eu, Ho, Sb = ng g⁻¹.

Na Tabela 1 e 2 são apresentadas os teores totais dos elementos Ca e Fe (mg g⁻¹), de Na, Zn, Co, As, Cr, La, Th, K (µg g⁻¹) bem como de U, W, Yb, Eu, Ho (ng g⁻¹), em diferentes camadas de dois ossosolos sob diferentes manejos, e que o método analítico de AANI, sem destruição de amostra, pode detectar.

A análise de variância encontrou diferenças:

a) entre camadas, em especial para os teores

de Fe, U e Yb no LE, e As, Eu, La, Ta e W em ambos solos;

b) entre épocas de amostragem, em especial para os teores de Zn e Yb no LV, e Pr no LE;

c) mas não entre níveis de fertilidade.

A análise de correlação, encontrou relação entre As com U e W, entre Ca com Sb e Th, entre Eu com La, Ta e W, entre La com Pr e Ta, entre Sb com Th, e entre U com W.

Tabela 3. Valores de elementos encontrados nos solos estudados, e média referência da abundância total de minerais úteis e nocivos aos seres vivos na crosta terrestre e rochas. (em ug g⁻¹)

Elemento	LV	LE	crosta ^{1,2}	Granito ¹	Diabásio ¹
Al	-	-	466.000	485.000	449.000
Si	-	-	277.200	339.600	246.100
Fe	-	-	81.300	74.300	78.600
Ca	25.000-37.500	24.400-40.200	50.000	13.700	77.600
Co	14.300-28.500	14.200-25.600	36.300	9.900	78.300
As	30-51	35-66	28.300	24.600	15.400
Sc	147-1.151	144-1.204	25.900	45.100	5.300
Th	-	-	20.900	2.400	39.900
La	-	-	4.400	1.500	6.400
Ca	-	-	1.400	400	600
Zn	-	-	1.050	390	650
Fe	-	-	950	230	1.320
Na	-	-	625	700	250
Cr	-	-	425	1.220	180
K	-	-	375	250	180
Ho	-	-	260	175	135
Eu	-	-	200	200	100
Sb	-	-	135	16	240
W	-	-	130	50	-
Yb	51-112	49-107	100	22	120
U	-	-	90	220	22
Rb	-	-	75	2	78
Ni	-	-	70	45	82
Zn*	5-23	8-47	55	13	110
Cu**?	-	-	30	120	30
La	12-20	11-24	25	2	50
Co**	2-3	2,5-3,5	22	3	34
Sc	7-32	6-37	20	8	14
N*	-	-	20	24	12
Li	-	-	20	20	10
Nb	-	-	15	49	8
Pb??	-	-	10	52	2
Th	7-44	4-34	10	2	17
B**?	-	-	8,00	20,00	2,00
Pr	1,50-3,70	0,70-3,10	3,40	1,00	3,00
Yb	0,70-1,70	0,60-1,20	3,00	1,50	1,10
Cs	-	-	2,50	0,50	0,50
Br??	-	-	2,00	4,00	3,00
Sn	-	-	2,00	1,60	0,70
Ta	1,90-3,70	1,70-3,00	1,80	0,80	2,20
As??	4,00-6,00	3,00-7,00	1,80	3,70	0,52
U	0,50-2,80	1,10-2,00	1,50	0,40	0,45
W	0,70-1,60	0,70-1,10	1,50	7,00	0,05
Mo*	-	-	1,20	1,00	1,10
Eu	0,30-0,50	0,20-0,50	1,20	0,50	1,30
Ho	0,10-0,90	0,10-0,30	0,50	-	-
I**	-	-	0,20	0,40	1,10
Sb	0,21-0,41	0,25-0,37	0,20	0,06	0,30
Cd??	-	-	0,20	0,10	0,20
Bi	-	-	0,08	0,20	0,20
Hg??	-	-	0,05	-	-
Se**?	-	-	-	-	-

(1) em Mason, 1971; (2) em Brooks, 1977; * = essenciais para vegetais e animais, ** essenciais para animais, += úteis para vegetais, ++ = podem ser úteis a vegetais, ? = podem ser tóxicos; ?? = geralmente são tóxicos. A Tabela reflete o universo de elementos que o método consegue analisar sem problemas.

caracterizam os solos como oriundos de granito, os teores de Pr e La semelhantes ao de diabásio, e os teores de Sc, Ca, Fe, Cr e U como sendo uma combinação de ambos. Realmente o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e o Latossolo Vermelho-Escuro (LE), formaram-se a partir de arenito em que houve intrusão de diabásio (Souza et al., 1988), estando o LE parcialmente mais próximo deste. Os valores de As e W aparecem muito elevados, podendo ser originários dos insumos aplicados, em especial dos calcários, utilizados para corrigir a acidez do solo. Os valores de Na e K estão muito abaixo dos valores referenciais. Moniz (1975) apresenta teor total de K em Latossolo Vermelho-Amarelo de 1.494 ug/g, e em Terra Roxa Latossólica de 415 ug/g. Ritchey (1982) cita teores totais de potássio em Latossolo Vermelho-Amarelo variando entre 145 e 4.011 ug/g, chegando a 16.560 ug/g (Verdade, 1960) e mesmo 28.152 ug/g (Castro et al., 1972). Para o Latossolo Vermelho-Escuro Ritchey (1982) encontrou valores totais entre 285 e 2.221 ug/g, chegando a 10.166 ug/g (Catro et al., 1972). Os valores mais baixos relatados por Ritchey não constituem normalidade, constituindo valores realmente muito baixos. Desta forma os solos analisados na fazenda Canchim apresentam valores dos mais baixos para K total, indicando baixa reserva de reposição deste elemento. O mesmo parece acontecer para sódio.

5. Conclusões

A partir dos resultados gerados pode ser concluído que:

1. a técnica de análise instrumental por ativação com neutrons, seguida pela espectrometria de radiação gama mostrou ser ferramenta potencial sensível para caracterizar o conteúdo total de alguns elementos não convencionalmente estudados nos solos agrícolas, sendo realizável em institutos de pesquisas nucleares.
2. os teores de Ta, Co, Th, Zn, Ho, Yb, Eu, e

Sb caracterizam a origem arenítica dos solos, os teores de Pr e La a introdução de material basáltico, e os teores de Sc, Ca, Fe, Cr e U uma combinação de ambos.

3. os valores de As e W parecem ser originados dos insumos agrícolas introduzidos no ambiente.
4. os valores totais de Na e K estão extremamente baixos nestes solos.

6. Referências

- ARMELIN, M. J. A.; MAIHARA, V. A.; VASCONCELLOS, M. B. A.; FÁVARO, D. I. T.; NASCIMENTO, V. F. Application of neutron activation analysis to estimate the distribution of inorganic elements among five varieties of Brazilian corn. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters*, v.164, n.4, p.265-274, 1992.
- BROOKS, R.R. Pollution through trace elements. In: BOCHRIS, J.O'M., ed., *Environmental chemistry*. New York, Plenum Press, 1977. p.429-476.
- CASTRO, A.F.; ANASTACIO, M.de L.A.; BARRETO, W.O. Potássio disponível em horizontes superficiais de alguns solos brasileiros. *Pesq.agropec.bras.*, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v.7, p.75-80, 1972.
- EHMANN, W. D.; VANCE, D. E. Studies of trace element involvement in human disease by in vitro activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, v.203, n.2, p.429-445, 1996.
- GLASCOCK, M. D.; NEFF, H.; STRYKER, K. S.; JOHNSON, T. N. Sourcing of archaeological obsidian by an abbreviated-NAA procedure. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, v.180, p.29-35, 1994.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I.; DUEVER, M.I. *Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida*. Trad. Malavolta, E. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978. 256 p.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição*

mineral de plantas. São Paulo: Ed.Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MASON, B. *Princípios de geoquímica*. Trad.FRANCO, R.R. São Paulo: Polígono/Ed.USP, 1971. 381 p.

MONIZ, A.C. *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro, Livrs Técnicos e Científicos, 1975. 460p.

RITCHEY, K.D. *O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos*. Piracicaba. Inst.Potassa e Fosfato/Inst.Intern.Potassa, 1982. 67p. (Bol.Téc., 7)

SOUZA, A.; SINELLI, O.; DAVINO, A. BARBOSA, P.F. *Estudos hidrogeológicos para captação de água na Embrapa-UEPAE de São Carlos*. São Carlos: Embrapa-UEPAE de São Carlos, 1988. 50 p. (Documentos, 7)

VERDADE, F.da C. Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo. I. Elementos K, Na, Ca e Mg. *Bragantia*, Campinas, v.19, n.34, p.547-565, 1960.