

ANÁLISE DE ELEMENTOS MAIORES E MENORES EM SOLOS POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Claudia Petronilho Ribeiro Morcelli¹, Ana Maria Graciano Figueiredo¹ e Jacinta Enzweiler²

(1) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, SP, Brasil

(2) Instituto de Geociências - UNICAMP
Caixa Postal 6152
13083-970, Campinas, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

A Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (AANI), em conjunto com a Fluorescência por Raios X (FRX), foram utilizadas no presente trabalho para a análise de elementos maiores e menores em amostras de solo coletadas em dois pontos próximo à Rodovia dos Bandeirantes. Foi determinado o teor de elementos de interesse ambiental como Al, Sb, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, V e Zn, para os quais já existem valores de referência naturais. As amostras foram secas em estufa a 40 °C, peneiradas, moídas e a fração < 2mm analisada por AANI e FRX. O objetivo do trabalho é estudar as variações destes elementos devido ao depósito de material particulado proveniente da combustão dos veículos automotores ou outras eventuais fontes antrópicas e comparar os resultados para os elementos cuja determinação é possível pelas duas técnicas. Este estudo preliminar mostrou que os teores encontrados para os elementos de interesse ambiental se encontram dentro dos valores de referência para solos tropicais brasileiros nos pontos amostrados, com exceção do Ba, que apresentou teor mais elevado.

Keywords: soil, trace elements, INAA, XRF.

I. INTRODUÇÃO

O solo costuma ser definido como a parte superficial não consolidada da superfície terrestre. É composto predominantemente por compostos inorgânicos, em torno de 90%, e possui substâncias orgânicas em percentuais variados. Os solos orgânicos não são comuns [1].

Um solo ou aquífero pode ser considerado "limpo" quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. Esta concentração pode ser denominada valor de referência de qualidade, sendo este um valor orientador. Um solo é considerado contaminado quando estes valores de referência são ultrapassados [2].

A análise química de solo é um poderoso instrumento para sua caracterização e estudo de seu comportamento a longo prazo, sendo esta informação útil pois permite estimar a fertilidade do solo [1].

Uma grande diversidade de tipos de solo é encontrada em climas tropicais, sendo que, para determinar as concentrações naturais das substâncias inorgânicas de interesse ambiental, leva-se em consideração as propriedades do solo que influenciam as condições microambientais, o que resulta em maior ou menor adsorção

de metais.

Naturalmente, são encontrados no solo elementos em baixa concentração e estes teores sofrem variações dependendo da origem de proveniência do solo em relação à rocha mãe.

Os metais, semi-metais e metalóides que costumam ser analisados e comumente encontrados no solo são: alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio, vanádio e zinco. Estes elementos, em teores acima dos valores de referência, são considerados nocivos à saúde pública e podem provocar contaminação do solo [2].

A análise química de solos é um poderoso instrumento para sua caracterização e estudos dos mecanismos de mobilidade e fixação de metais no solo.

O solo adjacente a rodovias tem sido objeto de estudo para se verificar a ação antrópica entre os metais pesados, como por exemplo Pb, anteriormente muito utilizado em compostos adicionados a combustíveis, devido à combustão em veículos automotores e emissão de material particulado.

A Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (AANI), em conjunto com a Fluorescência por Raios X (FRX), permite a análise de elementos maiores e menores

em solos. O objetivo do trabalho é de se verificar a composição de elementos inorgânicos em solo adjacente à Rodovia dos Bandeirantes.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Coleta das amostras. A amostragem foi realizada de forma perpendicular à pista em pontos situados a 5, 10, 15 e 20m da cabeceira da pista. A amostragem no ponto zero não foi possível devido à presença de cimento, asfalto e lama. Um tubo de PVC de 4mm de espessura e 2,5 polegadas de diâmetro e 15 cm de altura foi utilizado para coletar as amostras, sendo utilizado um tubo para cada ponto amostrado, para evitar contaminação. Cada amostra coletada foi transferida para um saco de polietileno, identificada e armazenada em pote de isopor, a baixa temperatura, para transporte até o laboratório, onde foram armazenadas na geladeira.

Tratamento das amostras. No laboratório, cada amostra foi colocada no "freezer" à temperatura de -18°C , por 1 hora, e então feito o fatiamento, com faca de titânio (limpa cuidadosamente com água destilada a cada corte), em sub-amostras de 0-25, 25-50, 50-75 e 75 a 100 mm, denominadas 25, 50, 75 e 100, respectivamente. Cada uma destas sub-amostras foi seca em estufa a 40°C , em béqueres, peneiradas e separada a fração $< 2\text{mm}$ para análise.

Procedimento para a Análise por Ativação com Nêutrons. Uma alíquota de 100mg de amostra foi pesada e acondicionada em saquinho de polietileno para posterior irradiação juntamente com 100 mg de cada um dos materiais de referência utilizados (BEN e SOIL-7). A irradiação foi realizada no reator nuclear IEA-R1 do IPEN-CNEN, SP. As condições de irradiação e contagem se encontram na Tabela 1. As medidas de radiação gama foram realizadas em um detector HPGe, GMX 20190, CANBERRA, com resolução (FWHM) de 1,9 keV para o pico de 1332 keV do ^{60}Co . A AAN comparativa foi utilizada para a determinação dos elementos analisados nas amostras. Sendo assim, as contagens obtidas para amostra e padrão foram comparadas para se obter a concentração dos elementos em cada material analisado. A realização deste cálculo é possível devido à proporcionalidade entre massa e atividade. A análise dos espectro de raios gama foi feita por meio do programa VISPECT. O cálculo das concentrações foi realizado com o auxílio do programa ESPECTRO, desenvolvido na Supervisão de Radioquímica, IPEN, SP.

Procedimento para a Análise por Fluorescência de Raios X. As amostras foram moídas em moinho de bolas de ágata a uma granulometria adequada ($< 75\ \mu\text{m}$). Prepararam-se pastilhas ($\varnothing=40\text{mm}$) a partir de uma mistura de 9g de amostra e 1,5 g de cera em pó (Hoeschst, Alemanha), as quais foram cuidadosamente homogeneizadas e prensadas por 1 minuto a 119 Mpa. Em um espectrômetro de

fluorescência de Raios X sequencial (PW2404, Philips), equipado com tubo de ródio, foi realizada a medida das amostras para a determinação de vários elementos (maiores e traços).

TABELA 1. Condições de irradiação e contagem utilizadas na análise de solo

Tempo de irradiação	8 h
Fluxo de nêutrons	$10^{12}\text{n cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Tempo de contagem	50000s
Recipiente de irradiação	alumínio

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por AANI e FRX, para a fração $< 2\text{mm}$ dos solos coletados na rodovia dos Bandeirantes nos pontos denominados RB43 e RB60, para elementos de interesse ambiental e que possuem valores naturais de referência para o Estado de São Paulo, como Cr, Fe, Mo, Sb, Se, Zn (AANI) e Pb (FRX), Ni, Cr e Cu (FRX) não se encontram acima dos valores máximos permitidos como pode ser observado na Tabela 2 e 3.

Os gráficos apresentados a seguir mostram a relação entre os resultados obtidos por FRX e AANI para os elementos As, Ba, Cr, Mo, e Zn, para os quais é possível a determinação pelas duas técnicas.

Apenas o elemento Ba apresentou teor acima do valor máximo permitido que é de 223 mg g^{-1} . Estes valores se encontram elevados para os dois pontos amostrados e apresentaram variação de 14% no Km 43 e 7% no Km 60 ao se comparar os resultados obtidos por XRF com os de AANI.

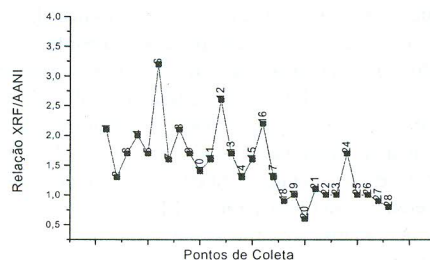


Figura 1. Relação entre os resultados obtidos por XRF e AANI para o elemento As

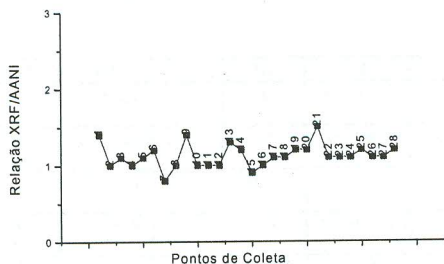


Figura 2. Relação entre os resultados obtidos por XRF e AANI para o elemento Ba

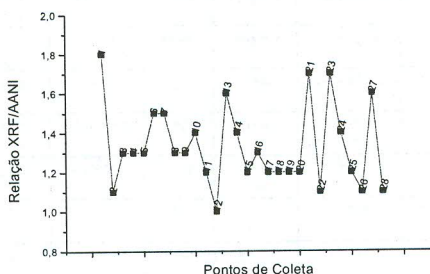


Figura 3. Relação entre os resultados obtidos por XRF e AANI para o elemento Cr

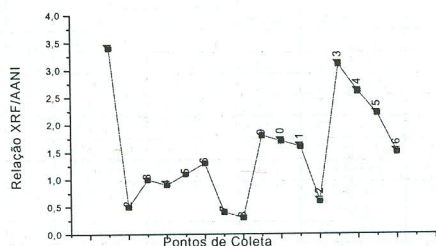


Figura 4. Relação entre os resultados obtidos por XRF e AANI para o elemento Mo

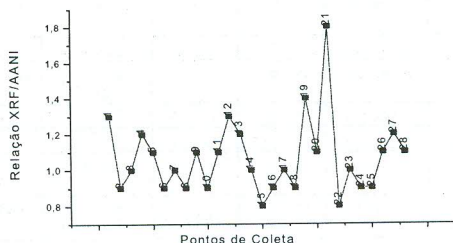


Figura 5. Relação entre os resultados obtidos por XRF e AANI para o elemento Zn

Os elementos Co e Rb apresentaram variação de 31% e 17%, para o Km 43 e 9% e 16%, para o Km 60, respectivamente para XRF e AANI. Houve boa concordância entre as médias dos resultados obtidos para os elementos Fe e Na. Para o elemento ferro obteve-se média de 3,1% para ambas as técnicas no Km43 e 3,7% e 3,4% no Km 60 para a FRX e a AANI respectivamente. Para o elemento sódio as médias obtidas foram 0,06% e 0,05% no Km 43 e 0,18% e 0,12% para a FRX e AANI respectivamente.

É interessante observar que, para os elementos As e Cr, os valores obtidos por FRX foram sistematicamente maiores do que os de AANI. Um dos motivos de possíveis variações nos resultados pelas diferentes técnicas deve-se a problemas de heterogeneidade da amostra, uma vez que a massa de material utilizado na AANI foi de 100mg enquanto que na XRF foi de 9g. Por outro lado, a AANI é conhecida por sua alta exatidão e precisão na análise de traços em materiais geológicos e os elementos As e Cr particularmente apresentam características nucleares apropriadas para a ativação neutrônica.

Em geral, os resultados podem ser considerados adequados para ambas as técnicas levando-se em conta a ordem de grandeza das concentrações dos elementos analisados. A FRX foi utilizada por determinar elementos maiores que fornecem informações sobre o tipo de solo que está sendo estudado.

O presente estudo possibilitou a determinação de elementos maiores e traços nas amostras de solo coletado. Entre 5 a 20m de distância da cabeceira da pista, até 10 cm de profundidade, para as frações <2mm analisadas, não se observou alto teor de concentração, acima do valor de referência, para metais pesados e elementos de interesse ambiental.

A partir dos dados obtidos pode-se constatar que, em um estudo ambiental, o que não foi realizado neste trabalho, há a necessidade de serem considerados vários fatores como a possibilidade do depósito do material particulado em plantas, aquíferos, sua possível migração para profundidades maiores no solo, alcance de camadas superiores da atmosfera e o depósito em outras regiões próximas à rodovia devido à ação preferencial dos ventos.

A utilização das duas técnicas traz a possibilidade de se determinar os elementos inorgânicos de uma forma rápida e simples e de se realizar uma caracterização inorgânica do solo.

TABELA 2. Teor dos elementos no solo coletado em RB43 e RB60 por AANI ($\mu\text{g g}^{-1}$)

	As	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	La	Lu	Mo	Na
1	1,5±0,1	237±45	2,9±0,1	69±1	5,8±0,2	41±2	2,0±0,1	1,09±0,02	21088±606	8,3±0,2	41±1	0,29±0,03	1,7±0,1	1820±29
2	2,3±0,2	301±19	3,6±0,2	204±2	7,5±0,1	66±1	2,6±0,4	1,36±0,01	28580±100	12,6±0,1	111±1	0,37±0,03	4,1±0,3	2245±11
3	2,3±0,2	269±34	3,6±0,1	93±1	7,0±0,2	56±6	2,2±0,1	1,26±0,02	26033±594	11,2±0,1	55±2	0,32±0,01	2,8±0,3	2647±70
4	1,5±0,1	376±70	2,6±0,1	83±1	10,9±0,3	76±1	3,5±0,1	2,32±0,04	32919±947	7,3±0,3	67±2	0,35±0,03	1,9±0,1	3080±49
5	2,2±0,2	262±49	4,3±0,1	67±1	6,6±0,2	59±3	2,2±0,1	0,94±0,02	25815±742	8,9±0,3	36±1	0,19±0,02	2,5±0,1	1127±17
6	1,2±0,1	281±53	2,1±0,1	77±1	7,9±0,2	60±5	2,8±0,1	0,91±0,02	27552±793	8,5±0,2	37±1	0,28±0,03	2,3±0,1	3293±52
7	2,1±0,2	434±55	1,9±0,1	82±1	12,5±0,3	93±9	3,4±0,1	0,05±0,01	34660±791	10,8±3,4	42±2	0,29±0,01	3,7±0,4	3461±104
8	1,3±0,1	361±46	1,3±0,1	92±1	31,1±0,7	71±7	3,3±0,1	1,23±0,02	31580±721	8,2±0,3	43±2	0,34±0,01	3,6±0,4	8450±45
9	3,3±0,3	177±33	2,7±0,1	64±1	7,0±0,2	65±3	1,5±0,1	0,92±0,02	36223±253	9,5±0,3	38±1	0,16±0,02	2,2±0,1	234±4
10	3,7±0,1	212±5	2,4±0,7	101±1	4,6±0,1	73±4	1,4±0,3	0,99±0,01	41634±366	8,6±0,3	59±3	0,17±0,02	2,2±0,1	186±10
11	2,5±0,2	314±20	3,3±0,2	91±1	8,0±0,1	86±9	2,3±0,1	1,23±0,01	39834±1575	9,6±0,1	49±1	0,19±0,01	2,1±0,1	487±15
12	1,5±0,1	384±7	4,4±0,1	92±1	12,1±0,3	99±4	2,8±0,1	1,35±0,01	33722±296	11,2±0,1	43±3	0,20±0,03	2,4±0,1	434±24
13	2,9±0,2	225±14	6,3±0,2	63±1	9,0±0,1	65±3	2,0±0,3	0,88±0,01	39347±156	11,1±0,1	33±1	0,17±0,01	1,7±0,1	317±2
14	4,6±0,2	187±12	5,5±0,2	65±1	9,2±0,1	72±7	1,9±0,3	0,81±0,01	44916±976	12,5±0,1	34±1	0,19±0,01	1,9±0,1	246±12
15	3,5±0,2	259±17	6,9±0,2	99±1	12,7±0,1	88±9	2,3±0,1	1,13±0,01	45886±1814	16,4±0,1	43±1	0,20±0,01	1,8±0,1	216±1
16	2,2±0,2	265±34	5,1±0,1	98±1	9,8±0,2	95±9	2,0±0,1	1,12±0,02	36514±833	15,8±0,1	41±2	0,19±0,01	2,4±0,1	177±3
17	6±1	426±27	nd	82±1	5,6±0,1	54±1	5,7±0,9	1,91±0,02	27276±1078	7,6±0,1	80±1	0,37±0,03	1,7±0,1	740±36
18	11±1	594±76	nd	109±1	11,4±0,3	74±6	6,9±0,2	2,95±0,05	41774±953	7,6±0,2	120±5	0,52±0,01	3,0±0,4	952±9
19	9±1	542±69	nd	93±1	8,1±0,2	68±5	6,5±0,1	2,56±0,04	32530±742	6,6±0,2	103±4	0,47±0,01	2,4±0,3	946±11
20	16±1	518±66	nd	81±1	12,2±0,3	65±5	7,0±0,1	2,50±0,04	33102±755	6,7±0,3	105±4	0,46±0,01	2,3±0,3	893±7
21	14±1	504±9	4,3±0,1	75±1	5,8±0,2	45±1	5,2±0,9	1,18±0,01	25192±221	5,7±0,1	47±3	0,33±0,04	2,8±0,1	446±25
22	16±1	569±10	1,1±0,2	85±1	9,7±0,2	71±6	6,5±0,9	1,36±0,01	29828±262	7,3±0,2	52±3	0,40±0,05	2,9±0,1	550±31
23	16±1	607±11	3,2±0,1	121±2	7,8±0,2	58±1	5,1±0,1	1,31±0,01	28569±251	7,4±0,1	50±3	0,37±0,05	3,3±0,1	513±29
24	10±1	619±12	2,7±0,7	86±1	13,9±0,4	74±5	6,0±0,9	1,31±0,01	31486±277	7,2±0,2	50±3	0,40±0,05	2,1±0,1	486±27
25	13±1	511±9	2,7±0,1	79±1	14,6±0,4	64±6	4,7±0,9	1,30±0,01	27571±242	6,5±0,1	51±3	0,40±0,06	2,7±0,1	556±31
26	14±1	547±102	2,6±0,1	86±1	17,9±0,5	72±3	5,6±0,1	1,37±0,02	30516±877	6,4±0,2	54±1	0,38±0,04	2,7±0,1	594±9
27	16±2	579±37	2,3±0,1	84±1	11,1±0,1	63±1	5,6±0,1	1,42±0,01	31599±1249	7,1±0,3	53±1	0,37±0,03	2,1±0,1	561±27
28	19±2	532±99	2,2±0,1	83±1	10,3±0,3	72±3	6,0±0,1	1,35±0,02	29386±845	7,1±0,2	51±1	0,41±0,04	2,1±0,1	524±8
	Nd	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Tb	Th	U	W	Yb	Zn	
1	27±1	58±4	0,3±0,1	6,1±0,1	0,50±0,18	5,7±0,3	0,99±0,01	0,62±0,01	10,5±0,1	2,8±0,2	3,9±0,1	2,1±0,2	75±2	
2	90±8	72±1	0,4±0,1	8,1±0,3	0,69±0,09	12,1±0,5	1,8±0,1	0,98±0,05	50,4±0,3	5,3±1,2	15,7±0,5	3,1±0,4	74±1	
3	50±2	62±1	0,4±0,1	7,6±0,1	0,52±0,04	7,1±0,2	1,4±0,2	0,56±0,01	14,2±0,4	2,9±0,9	1,0±0,2	2,0±0,4	62±1	
4	65±1	104±6	0,2±0,1	8,8±0,2	0,48±0,18	10,9±0,6	1,2±0,02	0,92±0,01	13,8±0,2	3,1±0,3	4,5±0,1	2,2±0,2	56±2	
5	22±1	45±3	0,4±0,1	7,6±0,2	0,36±0,13	4,8±0,3	0,80±0,04	0,50±0,03	9,0±0,1	3,0±0,3	5,2±0,1	1,5±0,2	71±2	
6	25±1	79±5	0,2±0,1	8,0±0,2	0,75±0,28	5,6±0,3	1,6±0,1	0,56±0,02	15,7±0,2	4,4±0,4	0,10±0,01	1,2±0,1	53±2	
7	58±2	87±1	0,10±0,02	9,7±0,2	0,58±0,04	6,1±0,2	1,6±0,2	0,51±0,01	15,0±0,4	4,5±0,2	1,3±0,1	1,8±0,1	51±1	
8	42±2	125±1	0,2±0,1	8,9±0,2	0,43±0,03	6,5±0,2	1,6±0,2	0,63±0,01	18,5±0,5	4,8±0,2	8±1	2,7±0,1	57±1	
9	22±1	29±2	0,4±0,1	10,6±0,2	0,51±0,19	4,4±0,2	1,10±0,05	0,45±0,01	7,7±0,1	2,0±0,2	0,5±0,2	1,1±0,1	52±2	
10	42±1	28±1	0,2±0,1	11,9±0,1	0,44±0,18	5,5±0,6	1,0±0,1	0,41±0,01	12,9±0,3	2,4±0,2	0,5±0,3	1,2±0,1	42±2	
11	44±4	39±1	0,2±0,1	10,5±0,4	0,42±0,07	5,3±0,2	1,08±0,03	0,53±0,09	10,8±0,1	2,3±0,5	13,5±0,4	1,2±0,2	42±1	
12	44±6	50±1	0,10±0,02	8,6±0,1	0,39±0,16	6,1±0,7	1,3±0,1	0,60±0,01	7,2±0,2	2,3±0,3	2,7±0,3	1,6±0,1	54±3	
13	28±2	35±1	0,4±0,1	11,0±0,4	0,53±0,07	3,9±0,1	1,30±0,04	0,35±0,01	7,5±0,1	2,2±0,3	12,8±0,4	1,2±0,2	65±1	
14	27±2	31±1	0,4±0,1	13,0±0,4	0,61±0,08	3,9±0,2	1,40±0,04	0,36±0,06	8,3±0,1	2,4±0,3	11,2±0,4	1,2±0,2	48±1	

15	34±3	39±1	0,3±0,1	12,9±0,4	0,56±0,08	5,1±0,2	1,70±0,04	0,51±0,09	9,5±0,1	2,4±0,3	10,8±0,3	1,4±0,2	52±1
16	49±1	41±1	0,20±0,02	9,8±0,2	0,62±0,05	4,9±0,2	1,60±0,22	0,49±0,01	8,9±0,2	2,5±0,1	4,6±0,5	1,1±0,1	48±1
17	72±6	105±1	0,57±0,01	9,4±0,3	0,47±0,07	11±1	0,80±0,02	0,85±0,04	10,9±0,1	2,5±0,3	1,1±0,4	3,1±0,4	36±1
18	146±6	151±1	0,65±0,03	12,9±0,2	0,59±0,04	17±1	1,2±0,2	1,35±0,01	15,1±0,4	4,0±0,2	2,0±0,3	4,8±0,1	42±1
19	89±4	145±1	0,68±0,03	11,8±0,2	0,40±0,03	14±1	1,0±0,1	1,14±0,01	13,4±0,3	3,1±0,1	1,6±0,2	4,4±0,1	27±1
20	124±5	133±1	0,64±0,01	11,3±0,2	0,34±0,02	15±1	1,0±0,1	1,14±0,01	12,4±0,3	3,0±0,1	4,0±0,6	4,3±0,1	33±1
21	40±6	100±1	0,74±0,07	7,7±0,1	0,47±0,19	7±1	0,70±0,07	0,70±0,01	10,7±0,3	3,4±0,3	3,3±0,3	2,7±0,1	76±4
22	47±1	127±1	0,84±0,07	9,7±0,1	0,37±0,10	8±1	1,1±0,1	0,84±0,01	12,7±0,3	3,2±0,3	1,1±0,3	2,9±0,1	49±3
23	50±2	125±1	0,74±0,07	9,6±0,1	0,53±0,13	8±1	0,9±0,1	0,82±0,01	12,4±0,3	3,1±0,3	1,6±0,2	2,9±0,1	37±2
24	46±2	128±1	0,72±0,06	10,0±0,1	0,40±0,02	8±1	1,0±0,1	0,88±0,01	13,3±0,3	3,4±0,3	1,7±0,8	2,7±0,1	37±2
25	51±4	118±1	0,79±0,07	8,8±0,1	0,34±0,06	8±1	0,90±0,05	0,89±0,01	11,8±0,3	3,2±0,3	1,5±0,1	2,8±0,1	46±3
26	35±1	124±8	0,78±0,03	9,8±0,2	0,38±0,04	8±1	1,0±0,1	0,80±0,03	12,8±0,2	3,2±0,3	1,6±0,2	2,8±0,3	35±1
27	49±4	123±1	0,78±0,02	10,2±0,3	0,37±0,06	8±1	1,0±0,1	0,75±0,04	13,1±0,1	2,8±0,3	2,0±0,5	2,9±0,3	31±1
28	34±1	129±8	0,98±0,03	9,8±0,2	0,57±0,02	8±1	1,0±0,1	0,88±0,03	13,2±0,2	3,6±0,3	6,2±0,2	2,4±0,2	33±1

Para os elementos de interesse naturais os valores proposto e máximo, em $\mu\text{g g}^{-1}$ são [3]: Al (71.500-117.100); Sb (<25); As (3,42-17,6); Ba (75-223); Cd (<0,5); Pb (17-23); Co (12,5-65); Cu (35,1-393); Cr (40-172,2); Fe (77.825-198.500); Mn (461-2330); Hg (0,05-0,08); Mo (<25); Ni (13,2-73,5); Ag (0,25-15,4); Se (0,25-0,56); V (274-818); Zn (59,9-200). As amostras foram denominadas: 1 a 4-Km 60 (distância 5m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 5 a 8- Km 60(distância 10m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 9 a 12-Km 60 (distância 15m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 13 a 16-Km 60 (distância 20m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 17-20-Km 43 (distância 5m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 21 a 24-Km 43 (distância 10m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 25 a 28-Km 43 (distância 15m, profundidade 25,50,75 e 100cm)

TABELA 3. Teor dos elementos no solo coletado em RB43 e RB60 por FRX - elementos maiores (%)e traços ($\mu\text{g g}^{-1}$)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	As	Ba	Cd	Co
1	67,3	13,5	4,16	0,41	0,42	0,33	1,21	0,18	0,76	0,053	3,2	330	1,7	11
2	69,9	13,1	4,10	0,37	0,33	0,30	1,16	0,15	0,77	0,048	3,0	306	1,4	9
3	74,0	12,1	4,15	0,35	0,29	0,30	1,21	0,12	0,77	0,048	3,9	303	1,5	9
4	62,7	19,8	5,40	0,65	0,27	0,32	1,61	0,10	0,91	0,04	3,0	387	1,4	15
5	71,6	12,5	4,45	0,33	0,42	0,20	0,93	0,13	0,89	0,046	3,7	301	1,7	11
6	70,8	15,7	4,50	0,42	0,30	0,46	1,64	0,08	0,81	0,028	3,8	329	1,3	9
7	67,5	17,6	4,58	0,45	0,25	0,42	1,58	0,07	0,92	0,034	3,4	360	1,2	21
8	62,9	20,1	4,82	0,54	0,46	0,76	2,17	0,07	0,82	0,038	2,8	355	1,4	14
9	68,0	14,5	6,30	0,29	0,14	0,07	0,58	0,11	1,31	0,048	5,5	249	1,1	10
10	59,1	19,9	6,99	0,21	0,08	0,06	0,63	0,11	1,11	0,024	5,0	226	0,9	8
11	59,5	19,6	5,80	0,35	0,09	0,10	0,85	0,09	1,06	0,025	4,0	300	1,1	13
12	61,4	20,6	5,43	0,61	0,27	0,30	1,59	0,10	0,91	0,040	3,9	382	1,3	15
13	59,5	17,5	6,56	0,41	0,33	0,08	0,56	0,18	1,75	0,068	5,0	298	1,2	10
14	61,9	17,6	6,78	0,30	0,16	0,06	0,47	0,13	1,66	0,058	6,0	228	1,0	12
15	64,6	17,6	6,12	0,30	0,10	0,06	0,55	0,10	1,51	0,046	5,5	245	1,0	14
16	60,1	19,4	5,40	0,28	0,07	0,07	0,57	0,09	1,22	0,027	4,9	264	1,0	13
17	77,4	12,7	4,00	0,31	0,08	0,13	2,81	0,06	0,49	0,072	7,6	489	1,3	11
18	70,3	19,4	5,39	0,36	0,04	0,15	3,99	0,06	0,57	0,071	9,6	655	1,2	16
19	72,5	18,0	5,35	0,35	0,04	0,13	3,85	0,06	0,60	0,069	9,2	641	1,3	16
20	72,9	17,6	5,23	0,34	0,04	0,13	3,74	0,06	0,59	0,071	8,9	626	1,3	16
21	69,0	17,2	4,35	0,42	0,13	0,15	3,3	0,08	0,49	0,066	13	617	2,3	18
22	72,2	16,8	4,50	0,40	0,06	0,11	3,33	0,07	0,52	0,068	14	624	1,3	24
23	69,7	18,5	4,55	0,42	0,05	0,13	3,46	0,07	0,50	0,055	15	635	1,4	19
24	71,8	17,6	4,63	0,39	0,04	0,10	3,43	0,06	0,50	0,063	15	653	1,2	20
25	70,7	16,7	4,51	0,40	0,09	0,11	3,15	0,08	0,49	0,041	16	733	1,4	11
26	72,4	16,4	4,61	0,39	0,05	0,11	3,21	0,07	0,51	0,042	16	642	1,1	12
27	63,2	20,1	4,78	0,42	0,05	0,17	3,50	0,09	0,46	0,034	16	686	1,2	13
28	68,2	19,7	4,74	0,42	0,04	0,13	3,50	0,07	0,49	0,041	17	669	1,1	17
	Cr	Cu	Ga	Nb	Ni	Pb	Rb	S	Sr	Sn	V	Y	Zn	Zr
1	75	25,1	16	12	41	32	77	506	84,3	0,8	77	20	94	332
2	74	20,8	17	13	41	31	73	404	75,2	nd	75	20	70	347
3	70	21,5	17	13	42	25	76	355	71,7	4,1	74	21	61	363
4	99	35,5	22	13	73	24	115	257	96,7	2,3	88	25	69	272
5	78	24,2	17	12	43	25	54	485	80	2,3	83	16	79	362
6	88	26,6	20	14	52	20	95	469	73,6	2,8	73	22	50	323

7	97	29,1	20	14	55	21	89	259	80,2	2,4	78	19	49	315
8	90	30	22	15	51	20	130	390	83,9	5,5	74	28	53	264
9	85	26,4	21	15	45	26	35	239	53,3	nd	126	16	60	383
10	103	18,4	25	15	28	26	33	180	49,5	3,2	132	15	37	341
11	105	30,6	23	15	54	25	47	188	71,4	2,6	105	15	46	337
12	107	34,7	23	14	71	24	115	252	97,2	3,2	88	25	71	267
13	102	32,8	19	19	43	25	42	365	72,6	2,3	154	14	78	431
14	100	30,6	20	18	39	23	35	239	53,1	1,9	149	14	50	456
15	103	33,1	21	18	50	24	40	195	57,4	1,2	126	13	47	489
16	121	33,3	21	17	56	22	41	170	60,3	1,2	108	13	43	449
17	64	15,7	15	10	31	19	113	98	28,4	3,0	54	34	37	299
18	87	22,4	20	11	35	20	164	52	37,3	4,8	60	45	37	255
19	81	22,4	20	11	36	20	160	62	36,7	2,9	60	44	37	265
20	77	21,2	19	11	35	19	157	57	34,5	3,6	59	44	37	264
21	77	18,2	17	9	44	29	127	566	31,6	3,9	54	33	136	254
22	78	20,1	17	9	44	27	130	382	29,6	2,6	53	33	41	261
23	102	19,1	18	10	39	27	133	354	31,3	3,8	60	33	38	246
24	78	18,5	18	10	38	28	138	233	29,7	4,4	55	34	33	264
25	75	19,1	16	9	43	29	125	463	30,8	4,6	54	32	43	246
26	80	19,1	17	10	45	24	136	299	29,6	1,7	54	34	40	268
27	101	17,9	17	10	42	27	137	242	29,6	4,1	51	33	37	262
28	101	17,1	17	10	43	24	141	172	29,3	1,8	53	33	35	279

Para os elementos de interesse naturais os valores proposto e máximo, em $\mu\text{g g}^{-1}$ são [3]: Al (71.500-117.100); Sb (<25); As (3,42-17,6); Ba (75-223); Cd (<0,5); Pb (17-23); Co (12,5-65); Cu (35,1-393); Cr (40-172,2); Fe (77.825-198.500); Mn (461-2330); Hg (0,05-0,08); Mo (<25); Ni (13,2-73,5); Ag (0,25-15,4); Se (0,25-0,56) $\pm$ V (274-818); Zn (59,9-200). As amostras foram denominadas: 1 a 4-Km 60 (distância 5m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 5 a 8- Km 60(distância 10m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 9 a 12-Km 60 (distância 15m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 13 a 16-Km 60 (distância 20m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 17-20-Km 43 (distância 5m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 21 a 24-Km 43 (distância 10m, profundidade 25,50,75 e 100cm); 25 a 28-Km 43 (distância 15m, profundidade 25,50,75 e 100cm)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro (proc. 00/02118-9), e ao Dr. Joel B. Sígolo, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pelo auxílio durante a realização da amostragem.

REFERÊNCIAS

- [1] Fassbender, H.W.; e Bornemisza, E., **Química del Suelos com Ênfase en Suelos da America Latina**, Costa Rica: 2^a. Ed. Servicio Editorial IICA (Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura), 1987.
- [2] LEMOS, M.M.G., **Metodologia adotada para o estabelecimento de valores de referência de qualidade para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**, Anais do II Seminário Internacional sobre qualidade de solo e águas subterrâneas: Proposta de valores orientadores para o Estado de São Paulo (CETESB), 2000.
- [3] CASARINI, S.C.P., **Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e água subterrâneas no Estado de São Paulo**, Anais do II Seminário Internacional sobre qualidade de solo e águas subterrâneas: Proposta de valores orientadores para o Estado de São Paulo (CETESB), 2000.

ABSTRACT

In the present work, Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) and X-Ray Fluorescence were employed to analyze major and minor elements in soil samples collected near Bandeirantes road. Elements of environmental interest, such as Al, Sb, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, V and Zn, which have reference background levels, were determined. The samples were dried in an oven at 40°C, were sieved (<2 mm), grinded and were analyzed by INAA and FRX. The aims of this work were: to evaluate the possible variations in the concentration levels in soil due to emission of particulate from vehicles and other anthropogenic sources; to compare the results obtained by using both techniques. This preliminary study showed that the concentration levels of the elements of environmental interest agree with reference values for tropical soils in the sampling sites, except for Ba, which presented higher values.