



## **ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA A PRO- SPECÇÃO GEOQUÍMICA DE METAIS TRAÇOS EM SEDIMENTOS DE CORRENTE NO SEMI-ÁRIDO DO ESTADO DA BAHIA**

J.J. Celino<sup>1,\*</sup>, P.A. Rangel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA),

Rua Barão de Geremoabo, s/n, Sala 314 A Federação, CEP 40170-290, Salvador - Bahia - Brasil

<sup>2</sup>Pós-Graduação de Geoquímica e Meio Ambiente (POSGEMA), Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Rua Barão de Geremoabo, s/n, Sala 308 C, Federação, CEP 40170-290, Salvador - Bahia - Brasil

E-mail: \*joil@ufba.br

Recebido em março de 2007, aceito para publicação em agosto de 2007

### **ABSTRACT**

Multivariate statistical techniques were applied to a set of geochemical data composed of 634 stream sediment samples, minus 80 mesh fraction, collected in a semiarid area of about 3,000 km<sup>2</sup> in the center northern part of Bahia State, Brazil, and analyzed by optical emission spectrograph and atomic absorption spectrography. A hierarchical cluster analysis was applied in search for statistical associations of elements. Principal Component Analysis was also used so as to not only recognize the associations of elements in the data set but also for generating the scores to be plotted on a geochemical map. Part of the results was to make apparent in the map the relationship between factors carrying high loadings of some elements and geological features such as lithologies and sets of fault lines.

### **RESUMO**

Técnicas de estatística multivariada foram aplicadas a um conjunto de dados geoquímicos constantes de 634 amostras analisadas, por espectrografia ótica de emissão e espectrografia de absorção atômica, a fração de menos 80 mesh de sedimento de corrente de uma área semi-árida de aproximadamente 3.000 km<sup>2</sup>, na parte centro norte do Estado da Bahia, Brasil. Aplicou-se análise de agrupamento hierárquico para procurar associações estatísticas de elementos e análise de componente principal visando reconhecer os grupos de elementos no conjunto de dados e gerar os scores a serem plotados em um mapa geoquímico. No mapa evidenciaram-se relações entre fatores com elevadas loadings de alguns elementos e feições geológicas tais como litologias e sistemas de linhas de falhas.

### **INTRODUÇÃO**

Em muitos casos a distribuição geoquímica dos elementos na superfície reflete simplesmente a distribuição das unidades litológicas. Essa relação estreita é mais fácil de ser observada nos solos do que nos sedimentos de corrente, já que a dinâmica dos dois materiais

é muito diferente. O que mais comumente ocorre é a contribuição de diversas litologias para a formação do fundo geoquímico em sedimento de corrente. Portanto, ao estudar o panorama geoquímico dos sedimentos de corrente, há que se levar em conta a contribuição parcial de cada uma das litologias que compõem a geologia da área em estudo.

Os levantamentos geoquímicos geram grande quantidade de dados. A análise estatística dos dados obtidos nesses levantamentos é uma tarefa complexa que se torna grandemente facilitada pelo emprego da estatística multivariada e modernas técnicas computacionais. A literatura geoquímica registra estudos que utilizam essas técnicas, como no caso de Selinus, & Esbensen (1995) em trabalho de pesquisa de métodos estatísticos para tratamento de dados multivariados, estudam processos estatísticos para separar teores geoquímicos naturais de teores de origem antropogênica. Por sua vez, Zhang, & Selinus (1998) discutem a utilização de sistemas de informação geográfica e estatística em geoquímica ambiental, acentuando a necessidade de se conhecer bem as funções e limitações, vantagens e desvantagens dessas técnicas para um melhor entendimento de suas aplicações.

Em Moita Neto & Moita (1998) a estatística multivariada fornece as bases teóricas para a análise de sistemas que envolvem grande número de variáveis. Os autores passam em revista os conceitos matemáticos sobre as técnicas de Análise da Componente Principal e Análise de Agrupamento Hierárquico.

Por sua vez, Filippini-Alba *et al.* (2001) fazem a integração de informações de mapas geológicos, dados geoquímicos e imagens digitais Landsat-TM, correspondentes a um setor do embasamento cristalino uruguaio, utilizando técnicas estatísticas, sistemas de processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica (SIG). Encontraram alguns problemas relacionados à amostragem e à existência de outliers, que foram corrigidos de duas formas: (i) usando as medianas dos grupos de acordo com o material amostrado; (ii) eliminando os outliers. Após essas correções o conjunto de dados resultante apresentou comportamento mais homogêneo. A resposta geoquímica foi controlada por variações relacionadas às unidades geológicas, aos litotipos e à ocorrência de mineralizações.

Em Lalor & Zhang (2001), os autores classificam as “outliers” em três categorias: 1-intervalo, 2-espacial e 3-relacional, definidas como observações que caem fora dos valores esperados da correlação dentro do conjunto de dados. Nesse estudo os métodos de estatística multivariada: análise da componente principal (ACP), análise de regressão múltipla (ARM) e auto associação de rede neural (AARN) são aplicados a um conjunto de 203 amostras de solos da Jamaica com análise de elementos terras raras (ETR). Os dados apresentam boa correlação entre os elementos ETR, como esperado. ACP é o método que se apresenta como o mais efetivo na detecção das anomalias de intervalo de valores elevados, enquanto a AARN e ARM se mostram mais efetivas na detecção de anomalias relacionais.

Já Smith (2005), considera a ACP uma ferramenta útil em campos tão diversos como o reconhecimento de faces e a compressão de imagens. A técnica é comumente usada para encontrar padrões em dados de alta dimensão. O autor precede a descrição da ACP com a introdução de conceitos matemáticos que são usados em Análise da Componente Principal, como desvio-padrão, covariância, eixos principais e eigenvalores. Há no artigo exemplos destinados a ilustrar os conceitos discutidos.

A estatística univariada é útil para o cálculo de médias, identificação de funções de distribuição de probabilidade e detecção de anomalias, enquanto a análise multivariada tem importante papel no estudo de relações entre variáveis. Quanto se trata de variáveis regionalizadas na geoquímica, a estatística convencional é limitada por se basear na assunção de variáveis aleatórias. A análise espacial utiliza as informações de coordenadas das variáveis, levando em conta a correlação espacial.

Com o objetivo de estudar o comportamento geoquímico de diversos metais traços em sedimento de corrente em uma área da região do semi-árido do Estado

da Bahia, técnicas de análise estatística multivariada foram empregadas sobre conjuntos de dados geoquímicos, constituídos por um grupo de 634 amostras de sedimento de corrente coletadas e analisadas na fração <80 mesh por espectrografia ótica de emissão e por espectrografia de absorção atômica.

Também foram utilizadas, como parâmetro do ambiente primário, amostras de rocha coletadas em cinco afloramentos de tipos litológicos da área, integrantes do acervo de dados geoquímicos da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM).

## MATERIAL E MÉTODOS

### LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIográficos

A área objeto deste estudo situa-se na região centro oriental do Estado da Bahia (Figura 1), tem cerca de 3.000 km<sup>2</sup> e compreende uma folha cartográfica de 30' x 30', denominada Folha Lajedinho (SD-24-V-A-III), entre as coordenadas geográficas de 12°00' e 12°30' de latitude S e 40°30' e 41°00' de longitude W. Na folha situa-se a sede do município de Lajedinho e parte dos municípios de Ruy Barbosa, Boa Vista do Tupim, Mundo Novo, Utinga, Itaberaba e Ibiquera.

O clima é predominantemente seco, sub-úmido, com médias anuais de precipitação entre 500 mm a 1.200 mm, passando, na parte sul, ao clima seco, semi-árido, com totais pluviométricos anuais na faixa de 500 mm a 800 mm. A temperatura média anual varia entre 22°C, a noroeste, e 23°C, na maior parte da área.

A rede de drenagem é constituída por cursos d'água naturalmente intermitentes, integrantes da bacia hidrográfica do rio Paraguaçu. Os rios Saracura e Riachão, principais, atravessam a área de oeste para leste na parte central. A recente construção de barragens, criando açudes que perenizaram porções importantes de vários cursos d'água, alterou parte do panorama hidrográfico da região. Em alguns trechos da área os cursos

d'água evidenciam um nítido controle estrutural que se traduz pelo traçado retilíneo e pelo padrão tipicamente retangular.

Ocorrem, na área seis tipos principais de solo descritos por Silva *et al.* (1981) como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, Podzol Vermelho-Escuro Eutrófico, Cambissolo Eutrófico e Solos Litólicos Eutróficos.

A vegetação natural da área está em grande parte descaracterizada por atividades de extração da madeira e pela implantação de pastagens, além de, em menor escala, pelo cultivo de subsistência de mandioca, milho e feijão. Na parte centro-norte da área desenvolve-se o cultivo do café em função das condições de relevo, altitude (altiplano), clima e solos. A destruição das florestas, as queimadas e a implantação de pastagens têm proporcionado condições para que se estabeleçam, na região, espécies xerófilas, típicas da caatinga.

Na Folha Lajedinho estão presentes duas grandes unidades geomorfológicas: (1) Relevo Plano de Tabuleiro que ocupa quase toda a metade ocidental da área, formado por resíduos de uma superfície de aplainamento fortemente pedimentada, relacionada ao ciclo de erosão Velhas, do Terciário Superior (King, 1956), retrabalhada por escoamento difuso e dissecação incipiente; e o (2) Relevo Colinoso em quase toda a porção oriental da quadrícula, com uma passagem gradual ao Relevo Plano de Tabuleiro. Corresponde a um modelado ondulado a suavemente ondulado, caracterizado por densa presença de pequenas colinas, outeiros ou morros, em geral de perfil arredondado, com desníveis chegando a 160 m, separados por vales com perfis em "U", compondo uma rede de drenagem bastante uniforme. A maior parte deste modelado encontra-se entre as altitudes de 400 a 600 m. No limite leste da área ocorrem ainda algumas elevações residuais, formando cristas alinhadas na direção NE-SW, com desníveis da ordem de 550 m, de encostas íngremes, em grande parte encobertas por colúvios.

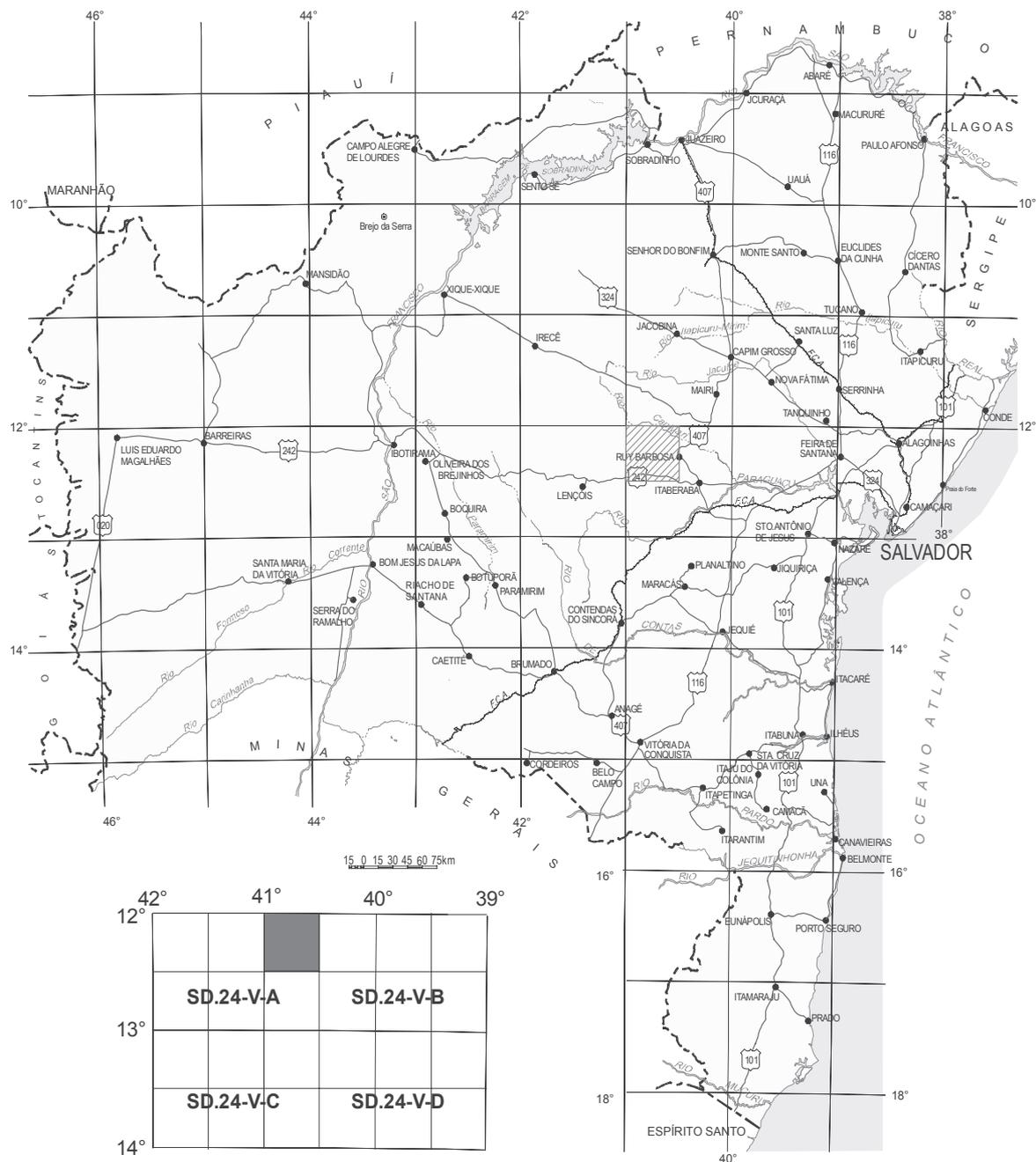


Figura 1: Mapa de situação e de localização da folha Lajeado

A geologia da Folha Lajeado é parte integrante da unidade geotectônica denominada Cráton do S. Francisco (Almeida, 1977). Em seu contexto foram identificados os Complexos Migmatítico-Granulítico e a Unidade Sonhém, relacionados ao Pré-Espinhaço, além das coberturas Pré-Cambrianas (Supergrupo São Francisco-Grupo Una), e depósitos detríticos atribuídos a ciclos de erosão desenvolvidos nos períodos Terciário e Quaternário (Figura 2).

O Complexo Migmatítico-Granulítico é constituído por um conjunto de rochas gnáissicas com estruturas migmatíticas, das fácies granulito a anfibolito, e subdividido na: Unidade São José (pCsj) é constituída por ortognaisses correspondentes ao embasamento das seqüências supracrustais, predominantemente sedimentares, constituídas por metapelitos (Unidade Amparo - pCa), metarcósios e grauvacas (Unidade Água Comprida - pCaC).

Os corpos de associações máfico/ultramáficas (m/um), intercalados nas Unidades Amparo e Água Comprida, são interpretados como sills diferenciados intrudidos logo após a deposição destes conjuntos líticos, antes dos eventos de deformação e metamorfismo que os atingiram.

A Unidade Sonhém compreende rochas vulcânicas intermediárias a básicas, metamorfisadas à fácies anfibolito baixo a xisto verde, com feições sugestivas de amígdalas e estruturas de pillow lava, além de metassedimentos químicos. Mascarenhas & Silva (1994) incluíram este complexo litológico no que definiram como seqüência Greenstone Belt de Mundo Novo. Admite-se que se tenha depositado no intervalo Arqueano Superior a Proterozóico Inferior, em inconformidade sobre o Complexo Migmatítico-Granulítico.

Ocorrem na área importantes corpos graníticos, de colocação pós-tectônica em relação ao Transamazônico, representado pelos granitos Lajedinho (de tendência equigranular), Santa Rita/Samambaia (granito

porfírico) e inúmeros corpos não mapeáveis de granitos e pegmatitos dispostos ao longo de zonas ou corredores de cisalhamento, todos de filiação predominantemente monzogranítica a granodiorítica, ricos em pertita, contornando as rochas das unidades Pré-Espinhaço.

Com base no mapeamento geológico da área (Soares, 1999), é utilizada outra nomenclatura, que guarda a seguinte correspondência com a nomenclatura aqui empregada, conforme pode ser visto no Tabela 1.

Para fins de interpretação geoquímica dos resultados de análise química das amostras de sedimento de corrente e as rochas da área foram agrupadas segundo o esquema abaixo:

- Grupo 01 – Qal, TQd, pCbe
- Grupo 02 – pEmbgr, pEmbgrp
- Grupo 03 - pCa, pCsj, pCrB
- Grupo 04 - pCac

O presente estudo vale-se de dados do levantamento geoquímico de sedimento de corrente realizado pela Companhia Baiana de

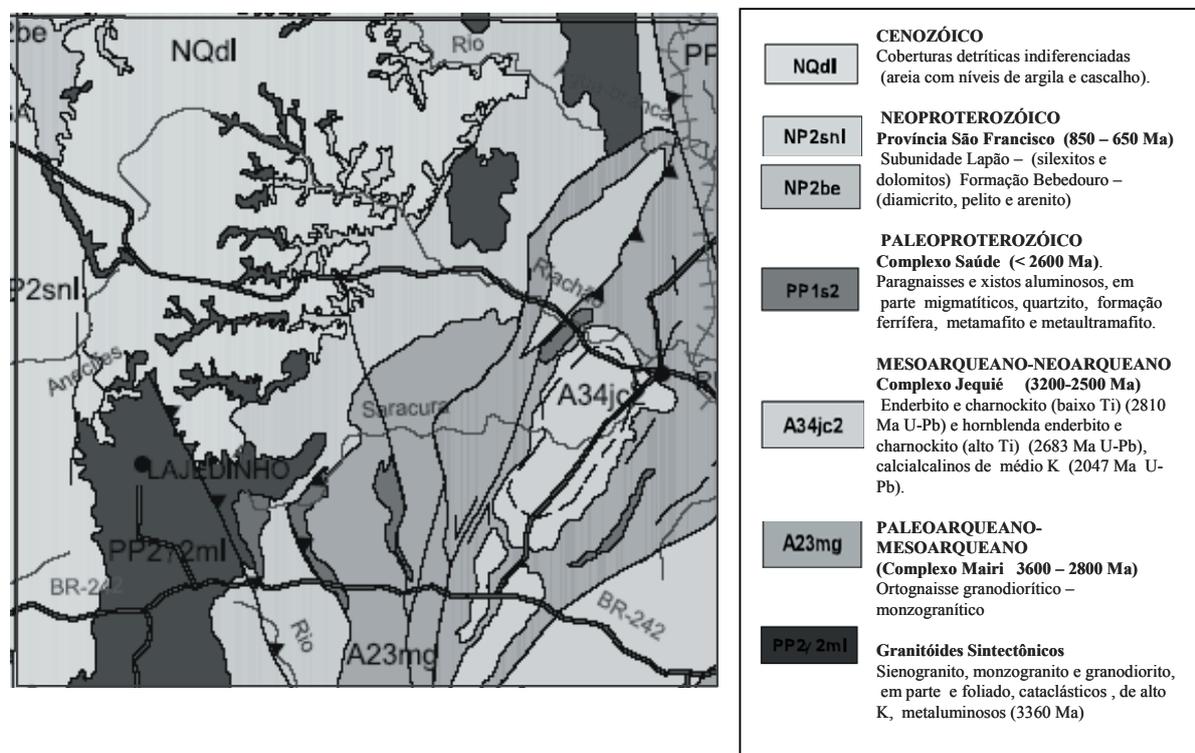


Figura 2: Esboço geológico da Folha Lajedinho (SD-24-V-A-III)

**Tabela 1:** Correspondência da nomenclatura do mapeamento geológico da área (Soares, 1999), com a nomenclatura empregada neste trabalho.

<b>Nome atual</b>	<b>Nome anterior</b>	<b>Descrição</b>
Unidade 1	Qal	Coberturas detríticas quaternárias
Unidade 2	TQd	Coberturas detríticas terciárias
Subunidade 3 <sup>A</sup>	(p€sa)	Formação Salitre
Subunidade 3 <sup>B</sup>	(p€be)	Formação Bebedouro
Unidade 4	(p€mbhgr)	Granito Lajedinho
Unidade 5	(p€mbgrp)	Granito Santa Rita/Samambaia
Unidade 6	(p€s)	Unidade Sonhem
Unidade 7	(p€a)	Unidade Amparo
Unidade 8	(p€sj)	Unidade São José
Unidade 9	(p€rb)	Granito Ruy Barbosa
Unidade 10	(p€ac)	Unidade Água Comprida

Pesquisa Mineral (CBPM), com a supervisão do co-autor, na região abrangida pela Folha Lajedinho (SD.24-V-A-III), cobrindo uma área de aproximadamente 3000km<sup>2</sup>. Nessa área foram coletadas 634 amostras de sedimento de corrente, no leito ativo de drenos com área de captação variando de 12 a 141km<sup>2</sup>

#### AMOSTRAGEM

As amostras foram coletadas obedecendo a seguinte sistemática:

- a) Utilização de um mapa de drenagem da área, no qual foram previamente plotados os pontos a serem amostrados.
- b) Amostragem de 4 a 5 pontos ao longo de cerca de 20m no leito ativo do dreno, constituindo uma amostra composta.
- c) Coleta do sedimento superficial, até cerca de 5 centímetros de profundidade.

#### PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

As amostras foram postas a secar em estufa a 105oC e peneiradas com peneira de náilon, utilizando-se para análise a fração menor que 80 mesh, que ainda sofre cominuição para <150 mesh.

#### ANÁLISE QUÍMICA

As amostras de sedimento fração de 80 mesh foram analisadas pelo laboratório GEOLAB, de Belo Horizonte, por

espectrografia ótica de emissão, padrão de 30 elementos: Ag, B, Ba, Be, Bi, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, In, La, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Ti, V, W, Y, Zn e Zr.

As alíquotas (1 g) acondicionadas em cadinho de teflon foram dissolvidas completamente usando a mistura ácida (3 mL) do HNO<sub>3</sub> e do HCl (3:1) para 12 horas. Logo após foram adicionadas 2 mL de ácido fluorídrico e o cadinho foi aquecido até a secura. Após a digestão completa, as amostra foram retomadas em HNO<sub>3</sub> 2%. Todo o material utilizado no procedimento de abertura e determinação dos elementos foi cuidadosamente lavado com HNO<sub>3</sub> 10% e água destilada até a completa remoção do ácido. Os extratos foram analisados para obter a concentração total do Fe, do manganês, do Zn, do Cr, do Cu, do Ni, do Pb e do Cd em sedimentos. Sobrenadantes de cada etapa eram também analisados para o Fe, o manganês, o Zn, o Cr, o Cu, o Ni, o Pb e o Cd. Triplicatas e os espaços em branco analíticos foram usados em toda a análise. A precisão do procedimento analítico foi considerado satisfatório através do exame de amostras padrões internacionais de sedimentos (PACS-2), com recuperação média dos metais variando entre 95 e 100% como o desvio padrão relativo às replicatas em torno de 10%.

A fração de 80 mesh foi também analisada por espectrografia de absorção atômica, com abertura por HNO<sub>3</sub>+HCl, para

Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, Fe, Mn e Mo, além de F com eletrodo específico para fluoreto e As com geração de hidretos.

A análise por espectrografia ótica de emissão não detectou os elementos Ag, Be, Bi, Ge, Hf, In, Sb, Sn, W e Zn. Todos são reportados abaixo do limite inferior de detecção. La é reportado com teor acima do limite mínimo de detecção em apenas 2 amostras e o Nb em 5. Entre os elementos analisados por absorção atômica apenas o Mo não foi reportado acima do limite inferior de detecção.

#### TRATAMENTO DOS DADOS

Neste trabalho é dada ênfase ao emprego do coeficiente de correlação de Pearson.

Visando detectar as associações de elementos na paisagem geoquímica de sedimento de corrente executou-se a análise de agrupamento hierárquico com 15 elementos.

O método de análise da componente principal é muito útil para se obter uma visão bidimensional de um conjunto de dados multidimensional. Para a análise das componentes principais, o cálculo dos eixos (eigenvetores) pode ser feito a partir da matriz de covariância ou da matriz de correlação.

As análises estatísticas univariadas, correlação e análise de agrupamentos foram feitas através do software STATISTICA 7.0 da Statsoft Inc. Para análise de componentes principais foi utilizado o software Oasis Montaj v.5.1, da empresa Geosoft Inc.

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os elementos que tiveram teores determinados estão listados nas tabelas 2 e 3, espectrografia ótica de emissão e absorção atômica, respectivamente. Essas tabelas exibem os parâmetros estatísticos básicos resultantes do tratamento preliminar dos dados com estatística univariada.

O escândio foi detectado em apenas

86 amostras, o que corresponde a 14% do conjunto. O cobre apresenta na análise por absorção atômica, grau de detecção de 79% contra 74,60 na análise por espectrografia ótica de emissão. Não passa no teste de K-S para lognormalidade em nenhum dos dois métodos analíticos. Os dados da absorção atômica apresentam 55% da distribuição com valor abaixo da média geométrica.

A observação dos dados de elementos analisados pelos dois métodos (tabelas 2 e 3) revela que apesar de proporcionar teores mais baixos do que a espectrografia ótica de emissão, a espectrografia de absorção atômica, com abertura por HNO<sub>3</sub>+HCl, proporciona maior variabilidade dos teores, como fica evidente pela comparação dos coeficiente de variação nas duas tabelas. Para os elementos analisados pelo método da absorção atômica verifica-se que os coeficientes de variação são mais elevados, o que se explica pela presença de teores bastante afastados do valor médio, especialmente o do ferro e o do manganês (153% e 347%, respectivamente). Observe-se ainda que o método de absorção atômica apresenta limites mínimos de detecção mais baixos, portanto maior sensibilidade analítica, resultando em melhor grau de detecção.

Todos os elementos analisados apresentam assimetria positiva. As medianas são mais próximas da média geométrica do que da média aritmética. Nos resultados da análise com espectrografia ótica de emissão, apenas cobalto, ferro, gálio e vanádio apresentam medianas mais próximas da média aritmética. Estes dois aspectos evidenciam a tendência à lognormalidade da distribuição.

A tabela 4 exhibe os parâmetros estatísticos básicos, média aritmética, média geométrica, mediana e coeficiente de variação para as 634 amostras de toda a área e amostras classificadas por grupos litológicos.

#### CORRELAÇÃO dos Elementos Traço

Foram processadas matrizes de correlação sobre os dados analíticos e os elementos foram selecionados pelos

**Tabela 2:** Parâmetros estatísticos básicos dos dados analíticos (mg/kg) de sedimento de corrente para a análise por espectrografia ótica de emissão (EOE) onde: GD = Grau de detecção (TD/N)\*100, MA = Média aritmética, MG = Média geométrica, MDN = Mediana, ASM = Assimetria.

Elemento	GD	MA	MG	MDN	ASM
B	72	35,57	29,09	28,08	2,75
Ba	100	427,84	359,17	380,71	1,44
Ca	100	3625,22	2881,39	3220,05	3,43
Co	35	16,62	13,02	38,27	2,35
Cr	93	34,84	26,27	28,12	1,86
Cu	75	15,42	12,6	12,05	3,10
Fe	100	8982	8620	10045	-1,92
Ga	60	18	15	17	13
Mg	100	1525,18	1106,08	1126,16	2,35
Mo	13	596,22	392,69	386,41	4,11
Mn	91	615,12	392,86	386,41	5,42
Ni	91	24,45	18,64	18,01	2,25
Pb	36	36,78	32,63	32,05	0,71
Sc	14	10,99	9,23	9,02	4,91
Ti	100	2637,73	2202,14	2247,55	1,02
V	100	79,39	66,67	78,42	14,04
Y	78	49,74	39,03	41,15	2,41
Zr	100	470,47	371,03	399,63	12,96

**Tabela 3:** Parâmetros estatísticos básicos dos dados analíticos (mg/Kg) de sedimento de corrente. Análise por absorção atômica (AA) onde: GD = Grau de detecção (TD/N)\*100, MA = Média aritmética, MG = Média geométrica, MDN = Mediana, ASM = Assimetria.

Elemento	GD	MA	MG	MDN	ASM
Cr	91,48	16,24	11,52	12,01	3,08
Cu	94,79	8,91	6,55	6,09	4,72
Ni	94,32	11,02	7,4	6,09	2,39
Pb	89,74	22,17	17,12	16,03	1,41
Zn	100	31,89	25,34	26,12	1,15
Fe	100	122,58	86,08	86,21	15,21
Mn	100	513,92	168,62	166,65	12,45
F	100	205,5	181,58	199,38	1,3
As	67,8	1,64	1,32	1,84	6,88

critérios de grau de detecção e coeficiente de variação.

Os elementos que apresentam os mais altos coeficientes de Pearson e que se correlacionam com o maior número de outros elementos são B, Ba, Ca, Mg, Ni, Ti, Y, Zr, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn e F. (Tabela 5). No caso da correlação dos elementos com o Fe

e Mn, isto sugere a adsorção deles na forma de precipitado de óxidos/hidróxidos de Fe e Mn.

Em seguida foram geradas matrizes de correlação para os grupos litológicos (Tabelas 6 a, b, c e d), com 15 elementos. Desprezaram-se os elementos As e Ga por terem baixo grau de detecção e o V pela

**Tabela 4:** Médias aritméticas (MA), médias geométricas (MG), medianas (MDN) e coeficientes de variação (CV) para o conjunto das 634 amostras de toda a área e para as amostras classificadas por grupos litológicos.

Litologia	Total				Grupo 1				Grupo 2				Grupo 3				Grupo 4			
	MA	MG	MDN	CV	MA	MG	MDN	CV	MA	MG	MDN	CV	MA	MG	MDN	CV	MA	MG	MDN	CV
<b>Ba</b>	428	359	381	58	525	434	500	62	326	260	280	62	549	465	480	62	440	392	410	48
<b>Ca</b>	3625	2881	3220	69	2056	1622	1820	75	2600	1984	2220	70	4168	3701	3600	52	4231	3529	3700	66
<b>Cr</b>	15	9	10	106	13	8	11	85	10	6	7	30	22	15	14	109	16	11	11	94
<b>Cu</b>	8	6	6	100	14	10	15	120	10	7	7	90	8	5	6	88	7	5	5	129
<b>Fe</b>	1226	861	10044	135	1448	959	1025	85	1253	764	770	242	1350	983	1000	83	1146	878	820	85
<b>Mg</b>	1525	1106	1126	87	2037	1308	1300	95	1055	791	845	100	1824	1299	1360	90	1673	1275	1260	78
<b>Mn</b>	514	169	165	347	1033	310	340	184	273	112	105	100	859	186	203	430	501	199	176	229
<b>Ni</b>	24	19	18	83	35	25	23	86	21	16	17	81	21	14	15	86	23	17	16	87
<b>Pb</b>	37	33	32	73	29	22	25	72	25	18	22	68	16	12	12	94	18	12	12	89
<b>Ti</b>	2638	2202	2248	60	3280	2685	3100	56	2514	2156	2290	54	3227	2640	3000	59	2456	2060	2000	61
<b>Y</b>	50	39	41	76	35	32	34	43	40	31	35	75	43	27	28	114	41	28	29	95
<b>Zn</b>	32	25	26	69	38	30	34	63	34	27	28	65	30	23	24	70	31	25	26	68
<b>Zr</b>	470	371	400	104	272	218	252	63	384	317	335	64	530	440	480	59	523	406	440	122

correlação pobre, em função da pequena ocorrência de litotipos máficos/ultramáficos na área.

Entre os pares de elementos correlacionados no conjunto de todas as amostras da área (634), destacam-se Ca/Mg, Mg/Ti, Mg/Cr, Ti/Zn, Cu/Pb, Pb/Zn, com coeficientes acima de 0,50 e abaixo de 0,70. São associações que devem se justificar pelos processos de adsorção em argilas (Cu/Pb, Pb/Zn) e pela presença de minerais ferromagnesianos derivados dos conjuntos líticos máfico/ultramáficos presentes principalmente nas unidades Água Comprida (pÇac) - gnaisses derivados de metarcósios e grauvacas- e Amparo (pÇa), derivada de metapelitos.

As correlações mais importantes são as listadas abaixo: Ba/Ca – 0,54, Ca/Mg – 0,66, Ca/Cr - 0,51, Mg/Ti – 0,56, Mg/Cr – 0,67, Mg/Fe – 0,51, Ti/Y- 0,52, Ti/Zr – 0,63, Ti/Cu – 0,52, Ti /Pb – 0,54, Ti/Zn – 0,55, Cr/Fe – 0,52, Cu/Pb – 0,63, Cu/Zn – 0,61, Pb/Zn – 0,66, Zn/Fe – 0,63, Fe/Mn – 0,51.

O subconjunto de amostras classificadas no Grupo 01, constituído por sedimento detríticos quaternários (Qal), terciários (TQD) e conglomerados da Formação Bebedouro (pÇbe), apresenta um grande número de fortes correlações (Tabela 5), especialmente as do ferro, que exhibe coeficientes de correlação elevados com quase todos os demais elementos. Isto provavelmente se deve à presença na fração fina do sedimento de corrente de hidróxidos de ferro e minerais resistatos provenientes das rochas sedimentares.

Outros elementos que apresentam correlações significativas são: B com Mg, Ni, Cr, F e Fe; Mg com Ni, Ti, Cr, Zn, F e Fe; Ni com Ti, Cr, Mn, Cu, F e Fe; e Ti com Zr, Cu, Pb, Zn e Fe.

O grupo 02, amostras coletadas em drenagens situadas sobre os grannitos Lajedinho (pÇmbhgr) e Santa Rita/Samambaia (pÇmbgrp) apresenta em geral correlações

**Tabela 5:** Matriz de correlação de teores dos elementos-traço em sedimento de corrente. B, Ba, Ca, Ga, Mg, Ni, Ti, V, Y e Zr analisados por espectrografia ótica de emissão, e Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, F, As, analisados por espectrografia de absorção atômica. As correlações mais importantes estão assinaladas em negrito.

	B	Ba	Ca	Ga	Mg	Ni	Ti	V	Y	Zr	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	F	As
<b>B</b>	1,00																	
<b>Ba</b>	-0,10	1,00																
<b>Ca</b>	-0,15	<b>0,54</b>	1,00															
<b>Ga</b>	0,17	0,18	0,09	1,00														
<b>Mg</b>	0,06	0,46	<b>0,66</b>	0,32	1,00													
<b>Ni</b>	0,31	0,15	0,26	0,29	0,43	1,00												
<b>Ti</b>	0,25	0,29	0,36	0,46	<b>0,56</b>	0,46	1,00											
<b>V</b>	0,18	0,15	0,17	0,36	0,36	0,37	0,41	1,00										
<b>Y</b>	0,15	0,08	0,12	0,42	0,30	0,40	<b>0,52</b>	0,33	1,00									
<b>Zr</b>	0,07	0,20	0,30	0,13	0,37	0,32	<b>0,63</b>	0,17	0,42	1,00								
<b>Cr</b>	-0,16	0,34	<b>0,51</b>	0,27	<b>0,67</b>	0,33	0,47	0,27	0,17	0,26	1,00							
<b>Cu</b>	0,27	0,06	0,21	0,31	0,49	0,42	<b>0,52</b>	0,30	0,31	0,25	0,40	1,00						
<b>Pb</b>	0,32	0,04	0,13	0,21	0,29	0,33	<b>0,54</b>	0,20	0,29	0,28	0,14	<b>0,63</b>	1,00					
<b>Zn</b>	0,19	0,14	0,25	0,35	0,47	0,38	<b>0,55</b>	0,27	0,38	0,36	0,32	<b>0,61</b>	<b>0,66</b>	1,00				
<b>Fe</b>	0,05	0,23	0,33	0,29	<b>0,51</b>	0,36	0,49	0,29	0,40	0,33	<b>0,52</b>	0,48	0,48	<b>0,63</b>	1,00			
<b>Mn</b>	0,07	0,32	0,38	0,06	0,43	0,28	0,30	0,19	0,17	0,23	0,39	0,27	0,23	0,37	<b>0,51</b>	1,00		
<b>F</b>	0,17	0,04	0,07	0,09	0,30	0,12	0,22	0,10	0,11	0,08	0,13	0,24	0,19	0,19	0,18	0,17	1,00	
<b>As</b>	0,01	0,04	-0,03	0,12	0,12	0,13	0,17	0,16	0,16	-0,04	0,18	0,17	0,22	0,18	0,29	0,14	0,10	1,00

(Tabela 6b) de coeficientes moderados ( $0,40 < r < 0,60$ ). Os coeficientes mais elevados são os do Mg com Ca, Ni, Ti e Cr. As fracas correlações do ferro e do manganês levam a supor que essas correlações se devem principalmente a processos de adsorção em argilas do sedimento. Nesse grupo observa-se ainda as correlações de Ti com Zr e Zn, que possivelmente se devem a presença de minerais pesados, como ilmenita e zircão, na fração siltico-argilosa do sedimento.

O grupo 03, amostras coletadas sobre rochas das unidades Amparo (pCa), São José (pCsj) e granito Ruy Barbosa (pCrb), apresenta correlações (Tabela 6c) que devem se originar das ligações químicas dos hidróxidos de ferro com outros metais, como as de Fe/Cu, Fe/Pb, Fe/Zn, Pb/Zn, Pb/Cu e Cu/Zn. Também ocorre correlação de Ca/Mg que pode estar ligada a adsorção desses metais em argilas e ainda Ti/Zr e Y/Zr, que podem se relacionar à presença de minerais pesados como zircão e ilmenita na fração fina do sedimento de corrente.

O grupo 04 contém as amostras de sedimento de corrente coletadas sobre as rochas da unidade Água Comprida (pCac). O grupo apresenta as seguintes correlações (Tabela 6d) significativas: Ca/Mg, Mg/Ti, Mg/Cr, Ti/Zn, Cu/Pb, Pb/Zn, Fe/Zn; Também exhibe fracas ( $0,40 < r < 0,50$ ) correlações de Mg com Ni, Zn, F e Fe; e de Fe com Ti, Mn, Cu e Pb. Essas correlações possivelmente se devem aos processos de adsorção em argilas e hidróxidos de ferro e manganês, além da presença de minerais ferro-magnesianos derivados das rochas máficas e ultramáficas presentes nesta unidade.

#### **ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO (CLUSTER ANALYSIS)**

Visando detectar as associações de elementos na paisagem geoquímica de sedimento de corrente executou-se a análise de agrupamento hierárquico com 15 elementos, utilizando o método aglomerativo e a regra de agrupamento de Ward. Para a medida da distância de amalgamação foi usado 1-

Pearson-r. É um método considerado como muito eficiente embora com tendência a criar agrupamentos de pequeno tamanho (Enders, 1998).

O resultado da análise de agrupamento hierárquico está representado na figura 03. Para a distância de amalgamação de 1 observam-se 4 grupos de elementos: (1) Pb-Cu-Zn-Ti; (2) Mg-Cr-Ni-Fe-Ba-Ca-Mn: (2a) – Mg-Cr-Ni; (2b) – Ba-Ca-Mn; (3) F-B; (4) Y-Zr.

O grupo 1, Pb-Cu-Zn-Ti pode ser atribuído a processos de adsorção em minerais de argila da fração fina do sedimento. A uma distância de amalgamação de 1.2 este grupo se liga ao grupo 3, formado por F e B, que também pode resultar do mesmo processo de adsorção em argilas.

O grupo 2, com a presença de Fe e Mn, pode ser facilmente atribuído a ligação com hidróxidos de Fe e Mn no sedimento. Mas pode-se também, observando uma distância de amalgamação menor – 0,8, subdividi-lo em 2 subgrupos: Mg-Cr-Ni e Ba-Ca-Mn. O primeiro sugere fortemente a fonte primária para esses elementos: minerais ferromagnesianos nas rochas máficas e ultramáficas da área; e o segundo subgrupo, além da já citada ligação com hidróxidos de Fe-Mn, tem a associação mais estreita entre Ba e Ca, elementos que se substituem na rede cristalina de alguns minerais.

Com a distância de amalgamação incrementada para 1,2 tem-se a ligação do grupo 4 com o grupo 2. Mas considerado isoladamente, o par Zr-Y pode também resultar da presença, no sedimento, de minerais em que os dois elementos ocorrem, como o zircão, que tem uma relação isoestrutural com xenotímio (fosfato de Ítrio - YPO<sub>4</sub>), (Deer *et al.*, 1969).

#### **ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS)**

Foi utilizado o software Oasis Montaj v.5.1, da empresa Geosoft Inc., para processar os cálculos, gerar as tabelas e os scores da Análise das Componentes Principais, e ainda

Tabela 6: Matriz de correlação para as amostras de sedimento de corrente sobre as litologias: Grupo 01(A), sedimentos detríticos Quaternários (Qal), Terciários (TQD) e metaconglomerados da Formação Bebedouro (pCbe); Grupo 02 (b) Granitos Lajedinho, Santa Rita/Samabaia;

A)	B	Ba	Ca	Mg	Ni	Ti	Y	Zr	Cr	Mn	Cu	Pb	Zn	F	Fe
B	1,00														
Ba	0,47	1,00													
Ca	0,14	0,02	1,00												
Mg	0,83	0,36	0,46	1,00											
Ni	0,65	0,36	0,34	0,75	1,00										
Ti	0,34	0,12	0,61	0,56	0,61	1,00									
Y	0,37	0,36	0,50	0,40	0,39	0,23	1,00								
Zr	0,04	0,22	0,65	0,33	0,44	0,91	0,16	1,00							
Cr	0,62	0,48	0,50	0,79	0,72	0,49	0,48	0,39	1,00						
Mn	0,48	0,76	0,03	0,28	0,52	0,07	0,36	-0,03	0,45	1,00					
Cu	0,27	0,13	0,20	0,39	0,58	0,64	-0,05	0,52	0,39	0,26	1,00				
Pb	0,13	0,07	0,46	0,20	0,47	0,73	0,20	0,69	0,47	0,18	0,59	1,00			
Zn	0,36	0,29	0,77	0,51	0,49	0,65	0,50	0,60	0,66	0,40	0,28	0,69	1,00		
F	0,72	0,08	0,30	0,75	0,55	0,39	0,24	0,08	0,46	0,03	0,35	0,18	0,24	1,00	
Fe	0,66	0,53	0,41	0,77	0,71	0,53	0,54	0,37	0,92	0,55	0,47	0,49	0,66	0,46	1,00
B)	B	Ba <th>Ca</th> <th>Mg</th> <th>Ni</th> <th>Ti</th> <th>Y</th> <th>Zr</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Cu</th> <th>Pb</th> <th>Zn</th> <th>F</th> <th>Fe</th>	Ca	Mg	Ni	Ti	Y	Zr	Cr	Mn	Cu	Pb	Zn	F	Fe
B	1,00														
Ba	0,00	1,00													
Ca	-0,08	0,49	1,00												
Mg	0,20	0,31	0,53	1,00											
Ni	0,09	0,18	0,28	0,51	1,00										
Ti	0,24	0,24	0,38	0,59	0,37	1,00									
Y	0,04	0,22	0,26	0,22	0,23	0,42	1,00								
Zr	0,01	0,33	0,34	0,24	0,18	0,58	0,43	1,00							
Cr	-0,03	0,11	0,38	0,67	0,53	0,40	0,04	0,10	1,00						
Mn	-0,04	0,26	0,36	0,22	0,09	0,07	0,03	0,03	0,18	1,00					
Cu	0,09	-0,07	0,09	0,45	0,33	0,40	0,10	0,12	0,32	-0,06	1,00				
Pb	-0,01	-0,01	0,21	0,30	0,23	0,44	0,13	0,17	0,18	-0,01	0,47	1,00			
Zn	-0,01	0,17	0,39	0,52	0,34	0,50	0,18	0,18	0,43	0,25	0,41	0,61	1,00		
F	0,41	-0,02	-0,06	0,16	0,02	0,12	0,08	0,00	-0,04	-0,06	0,06	0,02	0,03	1,00	
Fe	0,00	0,20	0,34	0,25	0,22	0,05	0,25	-0,05	0,18	0,17	0,02	0,14	0,34	0,05	1,00

**Tabela 6 (Continuação):** Grupo 03. Litologias das unidades Amparo, (pCa), São José (pCsj) e granito Ruy Barbosa (pCrb) e Grupo 04, Gnaisses da Unidade Água Comprida.

C)	B	Ba	Ca	Mg	Ni	Ti	Y	Zr	Cr	Mn	Cu	Pb	Zn	F	Fe
B	1,00														
Ba	0,02	1,00													
Ca	-0,02	0,34	1,00												
Mg	-0,01	0,19	0,71	1,00											
Ni	0,24	0,17	0,31	0,39	1,00										
Ti	0,10	0,37	0,28	0,29	0,34	1,00									
Y	0,14	0,14	0,28	0,32	0,53	0,44	1,00								
Zr	0,10	0,35	0,21	0,20	0,33	0,72	0,58	1,00							
Cr	-0,08	0,04	0,18	0,42	0,28	0,30	0,18	0,10	1,00						
Mn	-0,01	0,35	0,28	0,25	0,33	0,07	0,31	0,17	0,06	1,0					
Cu	0,14	0,10	0,39	0,46	0,37	0,39	0,38	0,25	0,39	0,14	1,00				
Pb	0,28	0,27	0,34	0,26	0,25	0,43	0,16	0,19	0,14	0,09	0,67	1,00			
Zn	0,15	0,32	0,30	0,44	0,48	0,45	0,43	0,38	0,31	0,30	0,52	1,00			
F	0,01	0,04	0,26	0,35	0,07	0,13	0,03	0,01	0,12	0,01	0,34	0,22	1,00		
Fe	0,13	0,32	0,33	0,42	0,44	0,42	0,45	0,27	0,47	0,26	0,65	0,60	0,67	0,28	1,00
D)	B	Ba	Ca	Mg	Ni	Ti	Y	Zr	Cr	Mn	Cu	Pb	Zn	F	Fe
B	1,00														
Ba	0,06	1,00													
Ca	0,08	0,36	1,00												
Mg	0,29	0,39	0,50	1,00											
Ni	0,25	0,18	0,26	0,46	1,00										
Ti	0,32	0,36	0,25	0,64	0,40	1,00									
Y	0,10	0,25	0,06	0,31	0,25	0,47	1,00								
Zr	0,19	0,10	0,04	0,20	0,21	0,32	0,27	1,00							
Cr	0,15	0,26	0,27	0,61	0,37	0,45	0,20	0,05	1,00						
Mn	0,04	0,27	0,26	0,37	0,37	0,25	0,13	0,05	0,24	1,00					
Cu	0,18	0,06	0,14	0,32	0,30	0,40	0,22	0,08	0,31	0,13	1,00				
Pb	0,23	0,02	0,10	0,21	0,17	0,45	0,13	0,05	0,15	0,17	0,63	1,00			
Zn	0,25	0,16	0,11	0,46	0,28	0,55	0,40	0,23	0,32	0,31	0,39	0,53	1,00		
F	0,05	0,09	0,19	0,41	0,12	0,28	0,11	0,09	0,24	0,14	0,15	0,15	0,21	1,00	
Fe	0,18	0,28	0,15	0,45	0,25	0,48	0,39	0,12	0,35	0,46	0,40	0,46	0,63	0,21	1,00

para a plotagem dos scores em mapa. O gráfico da figura 04 (screeplot) foram gerados pelo software S-Plus da empresa Insightful Inc. O procedimento inicial do Oasis Montaj é a transformação logarítmica dos dados e normalização pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão. Em seguida é calculada a matriz de correlação, sobre a qual é processada a análise das componentes principais.

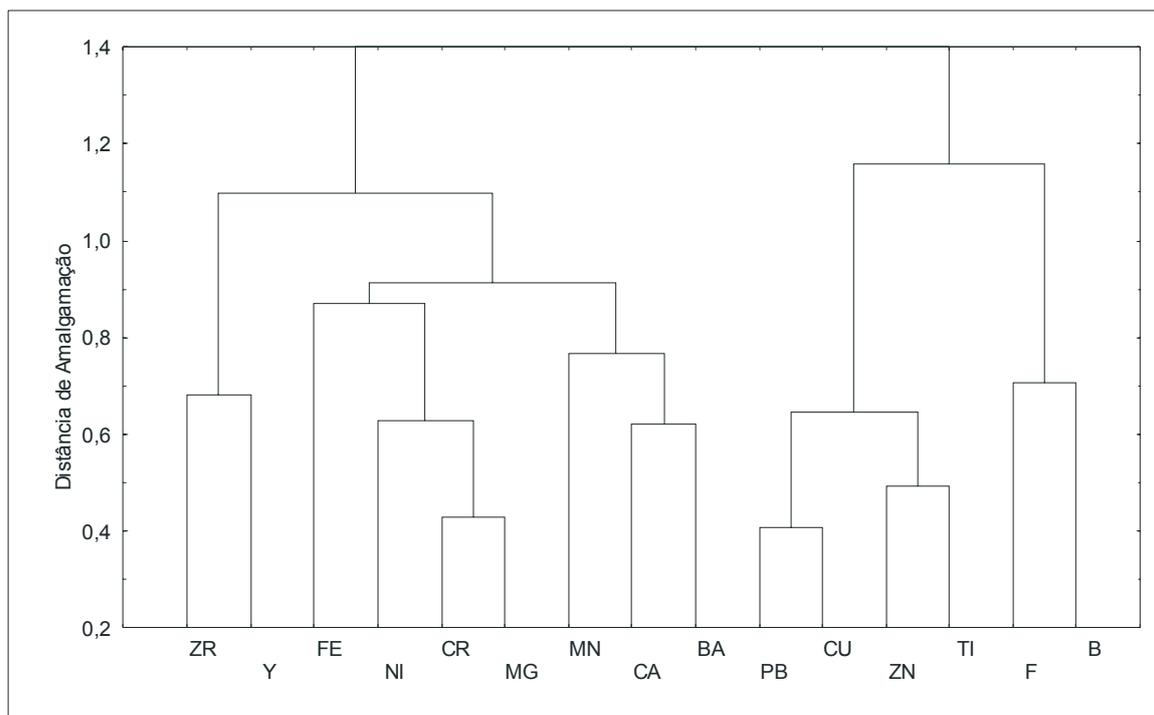
A extração dos fatores baseou-se na regra de Kaiser (1960), ou seja, retém-se apenas os fatores com eigenvalores maiores do que 1. Com base nesse critério retiveram-se 4 fatores. Na tabela 7 mostram-se os eigenvalores de todos os fatores da matriz de correlação. Na figura 4 (screeplot) estão plotados os eigenvalores para cada um dos 10 fatores mais importantes. O screeplot é a base do critério de Kattel (1966) para resolver a questão do número de novos fatores a serem extraídos. A regra é observar o ponto no gráfico onde o decréscimo suave dos eigenvalores parece ser quebrado por uma súbita inflexão da curva. Por esse critério apenas os fatores 1 e 2, e talvez o 3, seriam

retidos, já que o mais conspícuo ponto de inflexão na curva é o relativo ao fator 2. Já pelo critério de Kaiser extraem-se os quatro primeiros fatores, com eigenvalores >1. Juntos, os dois primeiros fatores explicam 51,10% da variância total. Acrescentando-se os fatores 3 e 4 ficam explicados 65,50% da variância, mas isoladamente nenhum dos dois fatores adicionais chega a explicar sequer 10% da variância.

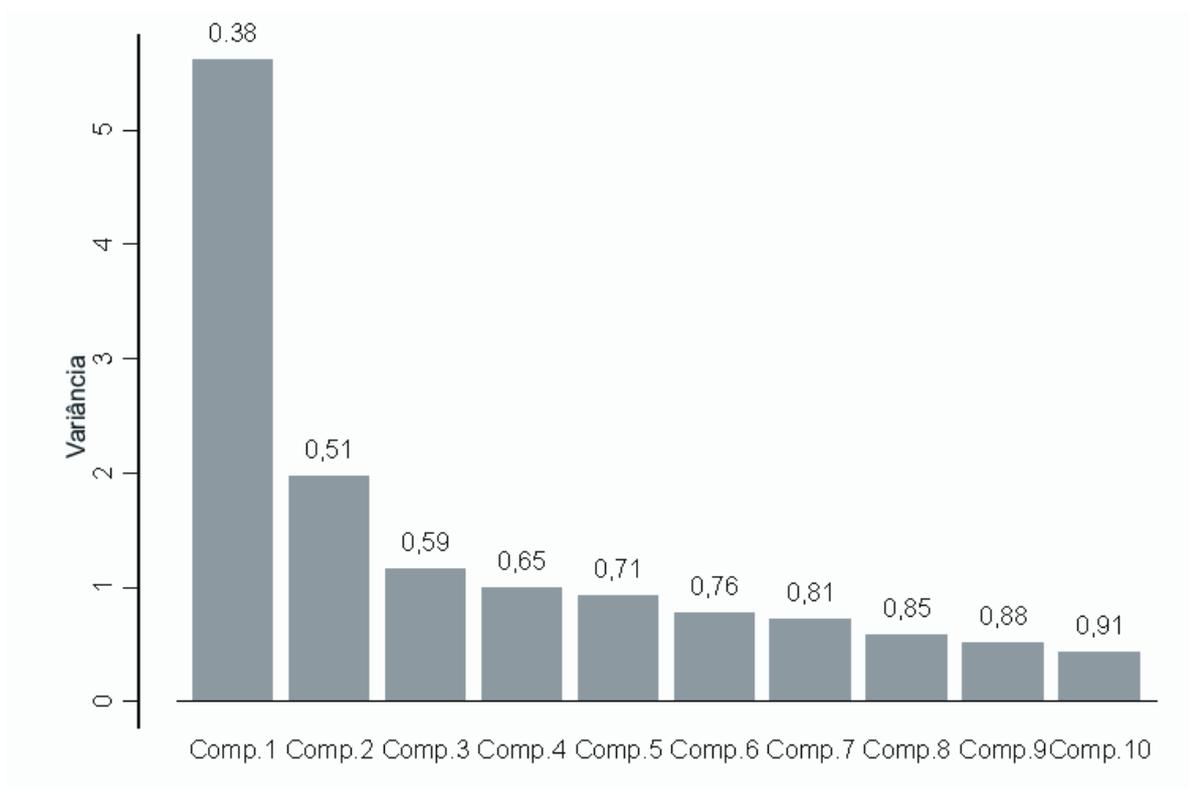
O primeiro fator (componente 1) é responsável por 37,9% da variabilidade no conjunto de dados de sedimento de corrente. Os quatro primeiros fatores, que possuem eigenvalor maior do que 1% respondem juntos por 65,5% da variação total (Figura 4 e Tabela 7).

A tabela 8 exhibe os loadings dos 4 primeiros fatores (componentes principais, PC-1 a PC-4). Loading é a contribuição de cada variável para a variância extraída pelo fator.

Para otimizar a extração dos fatores processou-se a rotação maximizadora da variância – varimax- obtendo-se os



**Figura 3:** Diagrama de agrupamento hierárquico calculado para os resultados analíticos de 15 elementos. Método de Ward para agrupamento e 1-Pearson-r como medida de distância.



**Figura 4:** Gráfico das componentes (fatores) x eigenvalores (vide tabela 09) de 634 amostras de sedimento de corrente.

loadings exibidos na tabela 7. Nesse processo obtiveram-se os scores utilizados nos mapas de distribuição dos scores para as quatro primeiras componentes principais (Figuras 5 e 6). Os scores expressam a contribuição de cada componente principal para cada ponto (amostra). Eles permitem relacionar os resultados da análise das componentes principais com os fenômenos naturais.

Com o objetivo de facilitar o reconhecimento da influência de cada componente, os scores foram normalizados, escalonados de 0 a 100, utilizado-se a seguinte expressão:

$$X' = (X-A) * 100 / (B-A),$$

onde X=observação, B=valor máximo, A=valor mínimo.

Sedimento de corrente ( fração < 80mesh)

PC-1 – Explica 37,9 da variância total. Apresenta loadings negativos elevados para Cu, Pb, Zn e Fe e moderado para Ti e Mn (<0.50), tabela 8. No mapa figura 5 estão

plotados os scores para esta componente (fator 1). Há uma concentração de observações (estações de amostragem) com scores elevados especialmente relacionada ao assim designado “Domo de Ruy Barbosa”, constituído por granitóide-gnaisses com paragênese mineral de alto grau metamórfico, com concentrações de minerais máficos, biotita e/ou hornblenda (Soares, 1999). Várias concentrações menores de pontos com scores elevados localizam-se preferencialmente nas proximidades e ao longo de linhas de falha de direção NO-SE. É possível que essa tendência seja devida apenas ao fato de as drenagens tenderem a se encaixar nas linhas de falha. É o que ocorre no setor NE do mapa, onde quase todas as drenagens correm paralelamente à direção dos falhamentos, mas não no centro sul, onde a maioria dos drenos corre quase perpendicular à direção dos falhamentos. O elevado loading do ferro (0,72) pode mais facilmente explicar essa associação de elementos (adsorção em hidróxidos de ferro). Em favor dessa hipótese há o fato de os scores médios (50-75) ocorrerem por toda a área,

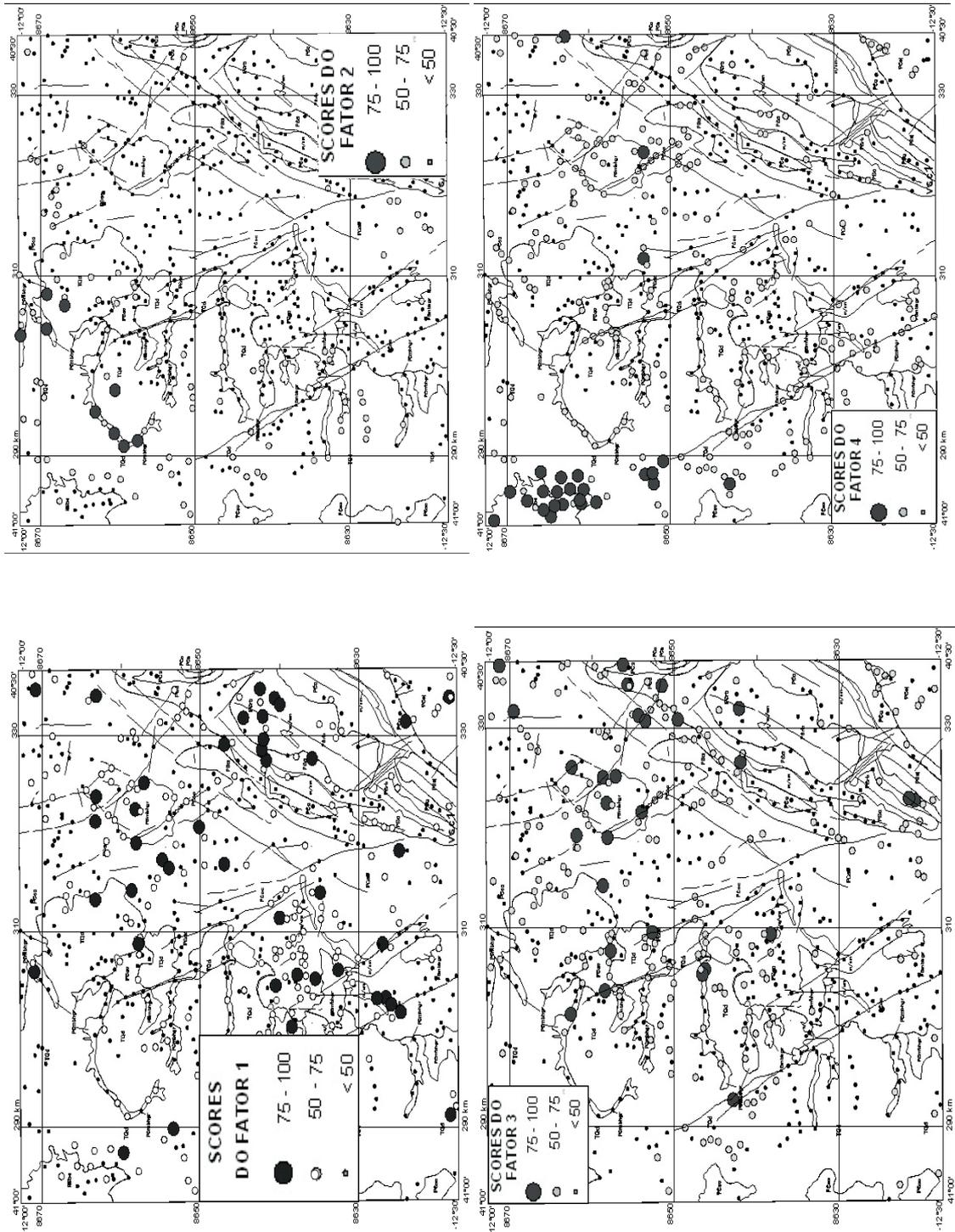


Figura 5: Distribuição dos Scores do FATOR 1, 2, 3 e 4 em sedimento de corrente da Folha Lajedinho (SD-24-V-A-III).

com uma dispersão quase uniforme.

PC-2 - Explica 13,2% da variância total. Exibe loadings elevados para Ba, Ca, Mg, Cr e Mn. No mapa da figura 5 observa-se que os altos scores dessa componente estão situados exclusivamente em drenagens onde ocorre o granito Lajedinho (unidade 4 ou pEmbgr), no setor noroeste da área. Além dos pontos com scores elevados, também os que apresentam scores médios ocorrem preferencialmente nas drenagens onde aflora o granito, na metade oeste da área. Fora dessa região, ou seja, na metade leste da área, não há senão alguns poucos pontos bastante esparsos que apresentam scores médios para o fator 2. A hipótese de associarem-se esses scores com os loadings não muito elevadas de manganês (-0,54) ou, menor ainda, do ferro (-0,38) é plausível, mas não explica o fato de os scores (normalizados) acima de 50 ocorrerem, em sua quase totalidade, nas drenagens que cortam o granito. O granito é intrusivo e contém enclaves de dimensões variadas de rochas máficas e ultramáficas. Em sua composição mineralógica entram como acessórios apatita, alanita, zircão, titanita e menos frequentemente, granada e fluorita.

PC-3 - Essa componente explica apenas 7,7% da variância total. Apresenta loadings moderados de Ni (0,50) e Ti (0,68) e elevados de Y (0,74) e Zr (0,78). Observando o mapa da figura 5, vê-se que essa componente está por toda a área com os scores médios (50-75) e em algumas concentrações de pontos com os scores elevados (Figura 5). Essas concentrações de alguns pontos com altos scores ocorrem no setor nordeste, sobre as rochas da unidade Amparo (unidade 7, gnaisses aluminosos) e em torno do granito Santa Rita/Samambaia. Os demais pontos com scores elevados estão situados em drenagens que cortam o granito Lajedinho. Os pontos com score médio estão dispersos por toda a área sem definir uma tendência específica de localização.

PC-4 - Essa componente é responsável por 6,7% da variância total. Sua característica mais importante são os altos loadings de B e F, 0,77 e 0,72 respectivamente. Os scores médios estão dispersos por toda a área (Figura

5), mas os scores elevados (>75) estão concentrados no extremo noroeste da área, nas drenagens que correm sobre as formações detríticas terció-quaternárias e as rochas da Formação Bebedouro. Esta última é um pacote sedimentar detrítico, constituído de metaconglomerados polimícticos, metarenitos feldspáticos, metarcósios e metassiltitos.

## CONCLUSÕES

A aplicação das técnicas de estatística multivariada na análise e interpretação de dados geoquímicos é de fundamental importância para se identificar associações de elementos que poderiam passar despercebidas e para se reconhecer as relações que podem existir entre essas associações e determinados fenômenos naturais.

A análise da componente principal confirmou as relações descobertas nos passos anteriores e permitiu um salto de percepção ao propiciar a passagem das relações matemáticas, ou estatísticas, entre elementos ou conjuntos de elementos, para a ligação destes com entidades geológicas, como as linhas de falha e as unidades litológicas. Como exemplo tem-se as seguintes observações:

(a) A notável associação da componente 1 (ou fator 1, ou PC-1), que tem altos loadings de Cu, Pb e Zn, com o granito Lajedinho e aparentemente com o sistema de falhas NO-SE. Atente-se ainda para a componente 1, do concentrado de bateia, com altos loadings de Ca, Cr, Ni e Mg, além de loadings moderados de Cu, e que apresenta a mesma tendência de ligar-se espacialmente a essas mesmas entidades geológicas.

(b) Uma outra notável associação de elementos com entidades do mapa é a do fator 4, de sedimento de corrente, com altos loadings de F e B, formando um agrupamento de pontos de scores elevados. no extremo noroeste da área, zona de ocorrência das rochas sedimentares metaconglomeráticas da Formação Bebedouro e de sedimentos detríticos terció-quaternários. Esse fator ainda exhibe forte tendência a ter seus pontos de scores médios (50-75) nas drenagens que cortam o granito Lajedinho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 7(4): 349 - 364.
- BRAZÃO, J. & ARAÚJO, A.P. 1981. Vegetação. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. 24 Salvador. Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, 24). p. 405-464.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1969. *An Introduction to Rock Forming Minerals*. Longmans, Londres.
- ENDERS, P. 1998. *Multivariate Analysis. Hierarchical Cluster Analysis*. UCLA Department of Education. (<http://www.gseis.ucla.edu/courses/ed231a1/notes2/cluster.html>). Acesso em 15/03/2005.
- FILLIPPINI-ALBA, J.M.; CRÓSTA, A.P.E.; OLIVEIRA, S. M.B. 2001. Interpretation of Surface Geochemical Data and Integration with Geochemical Maps and Landsat-TM Images for Mineral Exploration from a Portion of the Precambrian of Uruguay. *Revista Brasileira de Geociências* 31(2): 123-130.
- KAISER, H.F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20: 141-151.
- KATTELL, R. 1966. The Scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*. SAS Institute Inc. USA, p. 57-127.
- KING, L.C. 1956. Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147 - 273. 315p.
- LALOR, G.C. & ZHANG, C. 2001. Multivariate outlier detection and remediation in geochemical databases. *The Science of the Total Environment* 281: 99-109.
- MASCARENHAS, J.deF. & SILVA, E.F.A. 1994. Greenstone Belt de Mundo Novo: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas do Craton do São Francisco. Salvador: CBPM. (Série Arquivos Abertos, no. 5).
- MOITA NETO, J.M. & MOITA, J.C. 1998. Uma Introdução à Análise Exploratória de Dados Multivariados. *Química Nova*, 21(4): 467-469.
- NASCIMENTO, S.A.M. & TEIXEIRA, L.R. 1986. Mapa pedogeoquímico do Estado da Bahia: texto explicativo. Salvador: SGM. Escala 1: 1.000.000.
- QUEVAUVILLER, P.; KRAMER, K.J.M.; VINHAS, T. 1994. A programme to improve the quality of trace element determinations in estuarine water *Marine Pollution Bulletin* 28(8): 506-511.
- RANGEL, P.A. & SOARES, J.V. 1996. Prospecção Geoquímica Regional por Sedimento de Corrente na Folha Lajedinho-Bahia. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, 39, 1996. Salvador. Anais, v. III. p. 160-163.
- SELINUS, O.S. & ESBENSEN, K. 1995. Separating anthropogenic from natural anomalies in environmental geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration* 55: 55-66.
- SILVA, E.F.A., MASCARENHAS, J. de F.; SOARES, J.V. Projeto estudo do domínio granulítico na região de Itaberaba - Cruz das Almas. Salvador: CBPM, no prelo.
- SILVA, G.B., SANTOS, J.H.G., CORRÊA, P.R.S. 1981. Pedologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. 24 Salvador. Rio de

Janeiro: (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

SMITH, L.I. 2005. A tutorial on Principal Component Analysis. Disponível em [http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student\\_tutorials/principal\\_components.pdf](http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf). Acesso em 23/02/2005.

SOARES, J.V. 1999. Projeto Lajedinho-Ipirá; Folha Lajedinho. Salvador. CBPM.

STATSOFT, INC. 2005. Principal Component and Factor Analysis. Disponível em: <http://www.statsoftinc.com/textbook/stfacan.html#factor>. Acesso em 18/02/2005.

WARD, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58:236--245.

ZHANG, C. & SELINUS, O. 1998. Statistics and GIS in environmental geochemistry – some problems and solutions. Journal of Geochemical Exploration 64: 339-354

(Footnotes)

'To whom the correspondence should be sent: [joil@ufba.br](mailto:joil@ufba.br)