

ANÁLISE DA VARIÂNCIA DE DADOS GEOQUÍMICOS ASSISTIDA POR SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO NO VALE DO RIBEIRA - SÃO PAULO

FILIPPINI ALBA, J.M.(1); SOUZA FILHO, C.R.(2) & FIGUEIREDO, B.R.(2)

(1) Bolsista de pós-Doutorado FAPESP - filippi@ige.unicamp.br

(2) Professor Associado

Departamento de Geologia e Recursos Naturais

Instituto de Geociências – UNICAMP

Caixa Postal 6152

13083-970 Campinas – SP

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the usefulness of variance analysis applied to multi-element (Pb, Zn, Cu) geochemical data derived from stream sediments, using the Vale do Ribeira (São Paulo State), as a control area. Data were classified according to hydrographic microbasins. The polygons and posterior data classification were performed with the support of a Geographical Information System.

Variability was analyzed for hydrologic models with different mean sizes of microbasins (2 to 53 km²). Each element showed an intrinsic variability behavior, probably related to its superficial mobility. Inter-microbasins variance and residual variance were plotted against the mean area of the microbasins. The local variability was related to microbasins with mean areas lesser than 20 km² and a stabilization sill was obtained for larger microbasins. The applied method represents an option for variability analysis in two dimensions and is suitable to handle oriented information such as geochemistry of stream sediments. Sampling errors may be extrapolated from the plots of residual variance against mean area of microbasins.

RESUMO

Esse estudo compreendeu a aplicação da análise de variância nos dados geoquímicos multivariados (Cu, Pb, Zn) de sedimentos de corrente ativos, coletados no Vale do Ribeira, Estado de São Paulo. Os dados foram classificados em função de microbacias hidrográficas delimitadas com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica.

A variabilidade foi analisada para microbacias de tamanho médio diferenciado (2 a 53 km²), considerando diagramas de dispersão da variância inter-microbacias e intra-microbacias contra a área média das microbacias. Cada elemento apresentou um comportamento característico, interpretado em função da mobilidade superficial. A variabilidade local foi realçada para microbacias de área média inferior a 20 km². O método representa uma alternativa para analisar a variabilidade geoquímica em duas dimensões, sendo adequado para dados orientados, como no caso de geoquímica de sedimentos de correntes. O erro de amostragem pode ser extrapolado através dos gráficos de variância residual em função de área média de microbacias.

INTRODUÇÃO

A Análise de Variância – ANOVA é uma técnica estatística tradicional, amplamente divulgada em geologia (Davis, 1986). Garrett (1983) discutiu a utilização de três procedimentos para analisar a variabilidade

geoquímica em exploração mineral: geostatística, gridagem (otimização) e ANOVA. Em relação a ANOVA, Garrett (1983) destacou que: "...a técnica permite quantificar a variância em diferentes escalas areais e determinar o melhor procedimento de amostragem para otimizar a variabilidade geoquímica em função

físicos agem de maneira semelhante (Beltrame, 1994). No caso de aplicações envolvendo geoquímica de sedimentos de corrente, sejam com enfoque ambientalista ou prospectivo, geralmente é necessário analisar e comparar a resposta local (intra-microbacias) e a resposta regional (inter-microbacias), fato que pode ser resolvido através da ANOVA.

O objetivo deste trabalho é o de avaliar o modelo das microbacias, através da análise da variabilidade geoquímica local e regional de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira em função da ANOVA, levando-se em consideração a dependência do modelo com o tamanho das microbacias (variabilidade espacial).

ÁREA DE PESQUISA

A área de pesquisa está localizada no médio Vale do Ribeira no estado de São Paulo, no setor Iporanga – Eldorado, entre as coordenadas UTM (Zona 22, Datum Córrego Alegre – MG): X = 725950 – 805427 e Y = 7267238 – 7326867 (**Figura 1**).

O clima da região é quente e chuvoso, com temperatura média anual de 22 °C e precipitações médias mensais de 41mm em Agosto e 230mm em Janeiro (DAEE, 2000). O relevo é montanhoso e cárstico, com vales profundos, ocupados por córregos ou quedas de águas. As planícies ocorrem localmente e geralmente associadas às áreas de inundações periódicas. A altitude varia no sentido SE – NW, oscilando entre 5 – 1550 m acima do nível do mar (Sinbiota, 1999). O cultivo de banana, a criação de gado e a agricultura de sobrevivência são as atividades antrópicas predominantes. O turismo é uma atividade em desenvolvimento, em função do relevo (cavernas), da biodiversidade regional e da abundância de vegetação, em especial de Mata Atlântica.

A atividade de mineração está focalizada alguns quilômetros rio acima do setor estudado, mas há registros de 128 ocorrências ou depósitos minerais de As, Au, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn nesse mesmo setor (Perrotta, 1996).

Do ponto de vista geológico, as

seqüências supracrustais predominantes na região são orientadas segundo a direção geral NE-SW, e incluem faixas metassedimentares de unidades terrígenas, químicas e clastoquímicas, com intercalações de rochas vulcânicas e subvulcânicas básicas, o conjunto atribuído ao Grupo Açungui. Essas faixas são cortadas por corpos granitóides sin a tardi orogênicos de idade desconhecida. Corpos granitóides pós-orogênicos ocorrem localmente. No período Mesozóico, associado a tectônica de abertura do oceano Atlântico e a reativação da Plataforma Brasileira, ocorreu magmatismo básico fissural, com a intrusão do enxame de diques básicos do Arco de Guapiara. Também de idade mesozóica ocorrem intrusões alcalinas do tipo Jacupiranga (Perrotta, 1996).

MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados disponível para o estudo foi organizada no ambiente do SIG *ArcView* 3.2 (ESRI, 1999) e compreendeu:

- i. dados geográficos (Sinbiota, 1999).
- ii. o modelo digital de elevação - MDE derivado de dados da *Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM da National Aeronautics and Space Administration - NASA dos USA*.
- iii. dados geoquímicos levantados pela CPRM no Vale do Ribeira (Addas & Vinha, 1975; Morgental *et al.*, 1975; Morgental *et al.*, 1978; Alegri *et al.*, 1980 e Silva, 1982). Foram utilizados dados de Cu, Pb e Zn da fração inferior a 80 mesh correspondentes a sedimentos de corrente ativos, com extração por ácido nítrico e determinação por absorção atômica. A distribuição da amostragem geoquímica é heterogênea (**Figura 2**).

O MDE utilizado (**Figura 2**), gerado por interferometria de radar de dados adquiridos durante a SRTM em fevereiro de 2000, possui resolução horizontal de 90m e vertical de 10m (Souza Filho, 2003).

A delimitação das microbacias hidrográficas foi realizada através do *software ArcView* 3.2 (ESRI, 1999), considerando o MDE

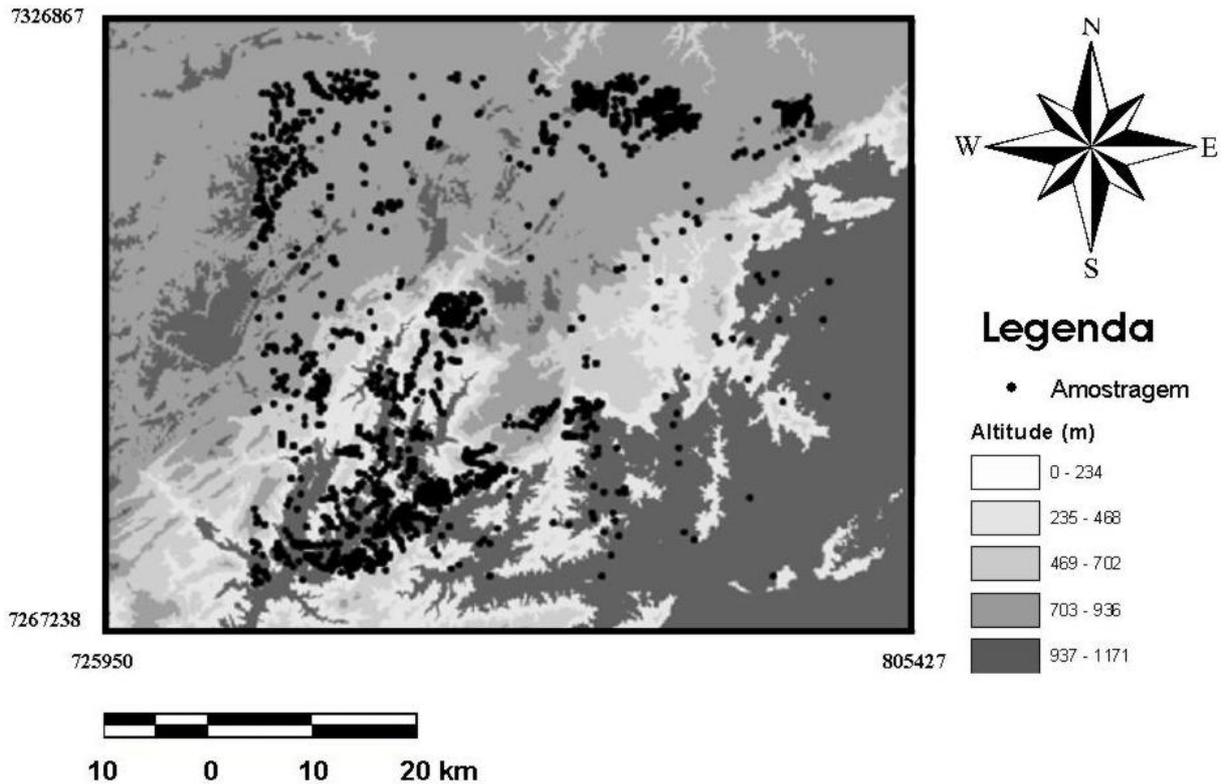


Figura 2 - Modelo digital de elevação e amostragem geoquímica. Coordenadas UTM (Zona 22, Datum Córrego Alegre - MG) em metros.

e o tamanho médio das microbacias. As microbacias com área média de 1,7 km² e 53,0 km² são apresentadas nas **Figuras 3 e 4**, respectivamente.

Para aplicar a ANOVA, as amostras (como definido por Garrett, 1983) foram classificadas, através das ferramentas do SIG, em função da microbacia a qual pertencem. Para cada microbacia foram calculadas a variância intra-microbacias, a variância inter-microbacias e o coeficiente F, de maneira análoga à

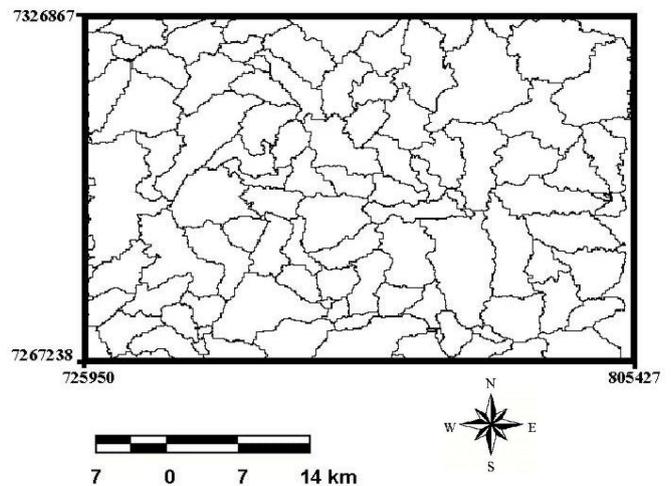


Figura 4 - Microbacias com área média de 53,0 km².

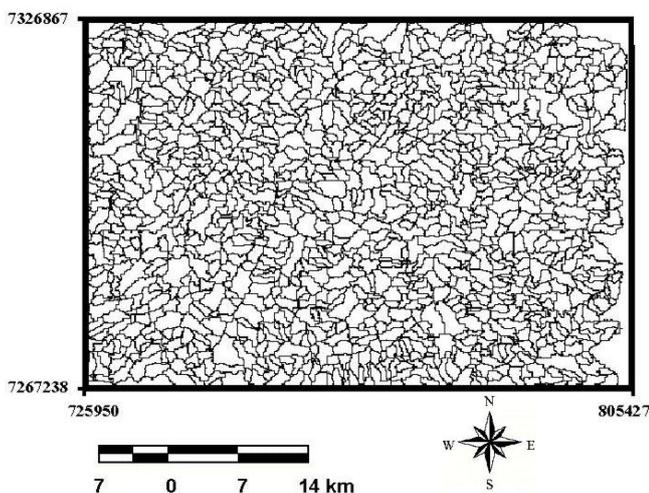


Figura 3 - Microbacias com área média de 1,7 km².

apresentada por Garrett (1983). A variância intra-microbacias, também conhecida como variância residual, é definida pela soma da diferença de quadrados entre a média do teor de um elemento na microbacia e o teor do elemento para cada amostra interior. A variância inter-microbacias é uma função da soma da diferença de quadrados entre a média de cada microbacia e a média geral. O coeficiente F é a razão da variância inter-microbacias sobre a variância intra-microbacias.

O resultado da ANOVA depende do

tamanho das microbacias, caracterizando a componente espacial da variabilidade geoquímica. Para analisar esse fator, os procedimentos mencionados acima foram repetidos de maneira seqüencial, para diversos conjuntos de microbacias, identificados pela área média de microbacia (**Tabela 1**). A delimitação das microbacias depende das restrições impostas pelo MDE, sendo impossível sua modificação uniforme. Assim, cada conjunto de microbacias apresenta um intervalo de variação próprio, mas com uma tendência ao aumento de tamanho.

Tabela 1 - Detalhes dos procedimentos associados à delimitação das microbacias. **N** se refere ao número de amostras em cada microbacia.

Conjunto	Número de microbacias	Área média (km ²)	Área mínima (km ²)	Área máxima (km ²)	Média de N
1	135	1,7	0,3	9,0	14
2	112	4,4	0,7	15,7	19
3	88	9,5	1,9	29,0	26
4	72	16,6	1,9	43,9	33
5	50	27,9	3,4	76,6	48
6	33	78,3	6,3	158,7	71

A utilização de procedimentos que consideram os dados distribuídos segundo uma malha regular para analisar a variabilidade espacial, como a análise dos variogramas da Geoestatística clássica, não foi adequada nessa situação, em função da natureza vetorial da geoquímica de sedimentos de correntes e da distribuição extremamente heterogênea dos dados disponíveis.

Na análise de variância, assume-se que as subpopulações são independentes, normalmente distribuídas e de variância homogênea (Davis, 1986). Para atingir essas condições, os seguintes critérios foram aplicados:

- 1) as microbacias contendo menos de 5 amostras foram descartadas, na tentativa de uniformizar os resultados.
- 2) os dados foram transformados em logaritmos naturais.
- 3) as amostras extremas nas microbacias com

coeficiente de variação superior a 0,8 foram eliminadas.

O uso de logaritmos é justificado pelo fato de que os dados geoquímicos de sedimentos de corrente apresentam, em geral, ajuste às distribuições log-normais (Garrett, 1983).

Koch & Link (1970) demonstraram que para coeficientes de variação inferiores a 1,2, a média amostral aproxima-se de forma eficiente da média populacional. Por motivos logísticos, assumiu-se que esse limiar é muito elevado, pois o desvio padrão é equivalente a 120% da média. Assim, foi utilizado o critério (3) apresentado acima.

Para comparar a variância residual com a variância de amostragem, foram consideradas as replicatas de amostragem em 38 locais, segundo o método de Garrett (1969). Esse método considera a ANOVA e compara a variância interlocais (definida em função da soma das diferenças de quadrados entre a média no local e a média geral) e a variância intra-locais (definida pela soma das diferenças ao quadrado entre a média no local e as replicatas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 2** são apresentadas as estatísticas básicas de Cu, Pb e Zn para a população total. Valores extremos podem ser notados para os três elementos, sendo que o Pb apresenta a maior variabilidade. Os resultados da ANOVA e suas variações em função do tamanho médio das microbacias são apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 2 - Estatísticas básicas de Cu, Pb e Zn para as amostras de sedimentos de corrente consideradas. **CV** = coeficiente de variação

	Cu	Pb	Zn
Amplitude	2 - 930 ppm	0 - 5100 ppm	1 - 1200 ppm
Média	48 ppm	61 ppm	110 ppm
Desvio padrão	49 ppm	155 ppm	81 ppm
CV	102 %	254 %	74 %
Número de Amostras	2386	2492	2386

Tabela 3 - Estatísticas das microbacias e da análise de variância para Cu, Pb e Zn. Valores originais transformados em logaritmos naturais. $F_c = 2$ (Howarth, 1983b).

Elemento	AMM (km ²)	CVMM	NM	GLI	GLR	SMI	SMR	F
Cu	1.7	0.153	13.9	126	1632	4.1	0.40	10.1
	4.4	0.163	19.1	107	1959	4.9	0.42	11.7
	9.5	0.181	26.5	83	2142	6.4	0.44	14.6
	16.6	0.192	32.7	69	2217	6.7	0.48	14.1
	27.9	0.209	46.6	49	2280	8.7	0.49	17.7
	53.0	0.209	71.2	32	2317	10.6	0.53	20.1
Pb	1.7	0.187	13.8	132	1702	8.9	0.50	17.66
	4.4	0.224	19.6	107	2010	12.8	0.60	21.23
	9.5	0.270	27.3	82	2185	9.2	0.97	9.45
	16.6	0.305	36.0	63	2241	21.5	0.72	29.76
	27.9	0.311	50.5	46	2325	29.0	0.80	36.37
	53.0	0.365	77.8	30	2381	43.9	0.88	49.95
Zn	1.7	0.129	14.0	124	1623	4.4	0.41	10.75
	4.4	0.114	19.1	107	1959	4.8	0.31	15.16
	9.5	0.118	26.5	83	2142	6.0	0.32	18.96
	16.6	0.123	32.3	70	2222	7.0	0.38	18.28
	27.9	0.124	46.6	49	2280	8.2	0.36	22.94
	53.0	0.118	71.2	32	2317	9.6	0.40	24.11

AMM = Área média das microbacias

CVMM = Coeficiente de variação médio das microbacias (desvio/média).

NM = Número médio de amostras em cada microbacia.

GLI = Graus de liberdade inter-microbacias.

GLR = Graus de liberdade residuais (intra-microbacias).

SMI = Soma de quadrados média inter-microbacias.

SMR = Soma de quadrados média residual (intra-microbacias)

F = SMI/SMR

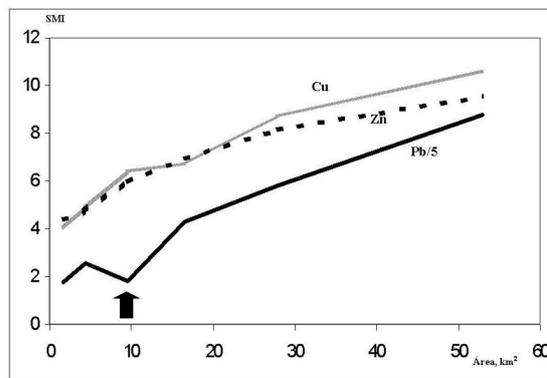
 F_c = Coeficiente F (crítico) para nível de significação de 5%, 17 graus de liberdade inter-grupos e 1000 graus de liberdade residual.

No caso do Cu e do Pb, o coeficiente de variação médio das microbacias (CVMM) aumentou proporcionalmente ao tamanho das microbacias e ao número médio de amostras por microbacia (NM), sendo o incremento mais evidente para o Pb. Destaca-se que, em todos os casos, o teste foi altamente significativo, ou seja, a variância intra-microbacias foi muito inferior à variância inter-microbacias. Observa-se ainda que a tendência geral do coeficiente F é a de aumentar com o tamanho das microbacias, demonstrando o predomínio da variação regional sobre a local, na medida em que a área das microbacias é expandida.

As variações das somas médias de quadrados inter-microbacias (SMI) e residual (SMR) foram representadas em função da área média das microbacias (**Figuras 5 e 6**). A SMI do Pb apresenta um forte crescimento, quase linear, exceto quanto ao valor correspondente à área média da microbacia de 9,7 km², onde ocorre um mínimo relativo (**Figura 5**). Cu e Zn apresentaram comportamentos muito semelhantes para a SMI, com crescimento suave. A SMR apresentou um comportamento diferenciado para os três elementos modelados, com um patamar de estabilização acima da área média de microbacia de 20 km² (**Figura 6**). Observa-se que no caso do Pb a variação local apresenta expressão máxima para microbacias de 9,7 km², quando também há um mínimo para a variabilidade regional. Para Cu e Zn, o entorno de variabilidade local é restrito a microbacias de 20 km², porém ambos elementos apresentam contrastes bem mais suaves.

Segundo Rose *et al.* (1979), o Cu apresenta mobilidade alta para pH abaixo de 5.5 e baixa para pH neutro ou básico. A mobilidade do Pb é baixa e a do Zn é alta, para qualquer condição de pH. Considerando dados de 1513 locais de amostragem, o pH da região varia entre 4.4 e 6.2, o que implica numa mobilidade moderada para o Cu. Isso parece concordar com o comportamento apresentado pelo Pb e Cu-Zn para a variabilidade local.

Howarth (1983a) demonstrou que ao aumentar o tamanho da cela nos procedimentos de interpolação locais (vizinho próximo, médias móveis, etc.) existe uma generalização do mapa,

**Figura 5** - Gráfico de variância inter-microbacias (soma média de quadrados inter-microbacias – SMI) em função da área média das microbacias. A "seta" indica a posição do mínimo relativo para o Pb (Tabela 3).

ou seja, uma atenuação do contraste. Quanto menor o tamanho das celas, maior a capacidade do mapa de refletir mudanças locais. A decisão final dependerá da necessidade de realçar a resposta regional ou local. Filippini-Alba (1998), utilizou gráficos de tamanho de cela contra as variações da média geral da variável interpolada,

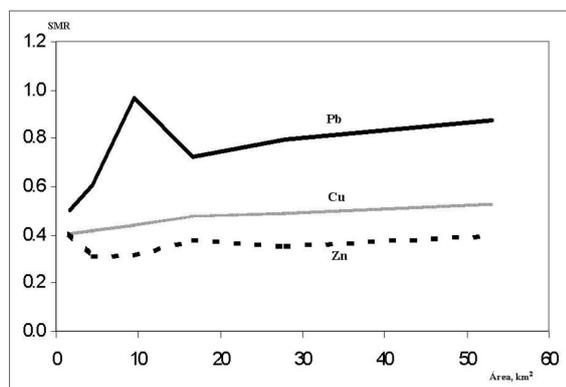


Figura 6 - Gráfico de variância residual (soma média de quadrados residual – SMR) em função da área média das microbacias (Tabela 3).

para otimizar mapas geoquímicos quadriculados, considerando a estabilização da média geral segundo o aumento do tamanho da cela.

O método das microbacias, da forma como aqui aplicado, pode ser comparado aos procedimentos de interpolação local, pois o valor designado para cada microbacia é a média das amostras interiores. Assim, ao aumentar o tamanho das microbacias, a média geral (média das médias de cada microbacia) tende à estabilidade (**Figura 7**). Observa-se que para os três elementos a estabilidade ocorre para microbacias maiores de 10 km², quando a resposta regional predomina sobre a local.

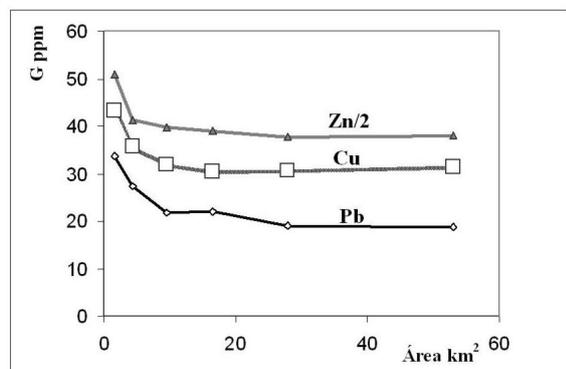


Figura 7 - Gráfico da média geométrica das microbacias para cada elemento em função da área média das microbacias (Tabela 3).

Tabela 4 - Resultados da análise de variância das replicatas de amostragem em 38 locais segundo o método de Garrett (1969). Foram 37 graus de liberdade inter-microbacias e 44 graus de liberdade residuais. $F_c = 5$ (Howarth, 1983b).

Elemento	Média (ppm)	Desvio (ppm)	Amplitude (ppm)	SMIL	SMRL	F
Cu	53	33	5 - 40	1.3	0.04	30.6
Pb	44	77	3 - 540	2.0	0.10	19.6
Zn	91	51	25 - 360	0.5	0.04	13.6

F_c = Coeficiente F (crítico) para nível de significação de 5%, 37 graus de liberdade inter-microbacias e 44 graus de liberdade residuais.
SMIL = Soma média de quadrados interlocais.
SMRL = Soma média de quadrados residual (entre replicatas de amostragem).

Para realçar a resposta local é necessário considerar microbacias com tamanho inferior aos 10 km². Assim, em função da **Tabela 3**, o raio de busca deve ser inferior à raiz quadrada de 10, dividida pelo número pi, ou seja, 1,8 km. A média de amostras por microbacias (NM), 26,5 no caso do Cu, orienta o valor de corte, ou seja, o número máximo de amostras consideradas para avaliar uma cela.

Na **Tabela 4** são apresentados os resultados da ANOVA para as replicatas de amostragem. Novamente os valores do coeficiente F foram significativos para os três elementos, indicando que a variância intra-locais, relacionada ao erro de amostragem no caso, é bem inferior à variância inter-local.

A variância residual para “área de microbacia nula” é uma estimativa do erro de amostragem, pois nessa condição somente o erro analítico e o de amostragem controlam a variabilidade. Esse valor pode ser extrapolado

Tabela 5 - Cálculos dos erros de amostragem a partir das replicatas e do método de extrapolação em função da área de microbacia.

Elemento	Replicatas		Extrapolação	
	CV	SMRL	CV	SMR
Cu	0.64	0,04	0.96	0,40
Pb	1.77	0,10	2.51	0,37
Zn	0.57	0.04	0.74	0,40

CV = Coeficiente de variação
SMR = Soma média de quadrados residual

através dos dados da **Tabela 3**, considerando as SMR para microbacias com área média de 1,7 km², 4,4 km² e 9,5 km², segundo um comportamento linear. Esses resultados foram comparados com aqueles obtidos da análise de variância para as replicatas de amostragem (**Tabela 5**). Dessa comparação, observa-se que a SMRL é bem inferior a SMR em todos os casos, o que sugere a existência de uma componente importante da variância inter-microbacias que não é controlada pelas componentes de erro (de amostragem ou analítica), mas por aspectos geológicos locais das microbacias.

CONCLUSÃO

O método aqui proposto é uma alternativa para analisar a variabilidade geoquímica em escala areal, sendo adequado para amostragens pontuais de informações de natureza vetorial, como os sedimentos de correntes, com qualquer padrão de distribuição. Para efetuar a ANOVA, as amostras foram classificadas segundo as microbacias hidrográficas, que representam unidades ambientais submetidas a processos de intemperismo, erosão e transporte similares, o que permite o agrupamento de amostras com características semelhantes.

A modificação do tamanho das microbacias e a reiteração da ANOVA para cada novo cenário, foram agilizadas pelo suporte do SIG. Sem o uso dessa ferramenta, as etapas de geração de cada modelo hidrológico e posterior classificação das amostras consumiriam um tempo operacional absurdo.

Os SIGs usam, em geral, arquivos de imagens para processar as informações, sendo necessário interpolar os dados geoquímicos, que possuem natureza pontual. Os parâmetros calculados pela técnica discutida no presente artigo, como área média ideal de microbacia e número médio de amostras por microbacia, permitem uma melhor orientação do processo de interpolação, aprimorando as avaliações posteriores.

Para todos os tamanhos médios de microbacia, a ANOVA foi significativa, com tendência geral ao aumento do coeficiente F paralelamente ao incremento do tamanho das microbacias. Isso significa que a componente regional da variância cresceu em relação à variância intra-microbacias. Observa-se que essa condição é essencial para aplicar o modelo das microbacias em geoquímica. Por outro lado, a variância intra-microbacias foi bem superior à variância de amostragem (replicatas), o que indicou a existência de uma componente intrínseca relacionada às características internas de cada microbacia.

AGRADECIMENTOS

J.M. Filippini Alba agradece à FAPESP pela concessão de uma bolsa de pós-doutorado (Proc. No. 02/13341-6). Os autores são gratos ainda a FAPESP pelo Auxílio à Pesquisa (Proc. No. 2002/00271-0), ao CNPq (bolsas de produtividade em pesquisa) e aos colegas da CPRM Gilberto J. Machado e Mônica M. Perrotta pela concessão e permissão de uso de dados geológicos e geoquímicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDAS, W. & VINHA, C.A.G. DA. (1975) Projeto Sudelpa: relatório final reconhecimento geoquímico (parte 1 a 3). Sudelpa/CPRM.
- ALEGRI, V.; PIZZATO, L. G.; FERRARI, C. P.; ADDAS, W.; MORGENTHAL, L. A. (1980). *Projeto serra do Jabaquara: relatório de prospecção preliminar*. CPRM.
- BONHAM-CARTER, G. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS. Pergamon, 398p.
- BURROUGH, P.A. & MCDONNELL, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, 333p.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica (2000). Banco de dados hidrográficos. In: <http://www.dae.sp.gov.br>.
- DAVIS, J. (1986). Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley, 646p.

- ESRI (1999). ArcView GIS. Version 3.2. Environmental Systems Research Institute Inc. (handbooks).
- FILIPPINI – ALBA, J.M. (1998). Análise e integração de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto em um setor do cristalino Uruguaio. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de São Paulo, 172p.
- GARRETT, R.G. (1969). The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. *Economic Geology*, 64: 568-569.
- GARRETT, R.G. (1983). Sampling methodology. *In: R.J. Howarth, ed. Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting*. Elsevier, p. 83 – 110.
- HOWARTH, R. (1983a). Mapping. *In: R.J. Howarth, ed. Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting*. Elsevier, p. 111-205.
- HOWARTH, R. (1983b). Graphical aids for some statistical tests. *In: R.J. Howarth, ed. Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting*. Elsevier, p. 393-401 (Appendix).
- KOCH, G. & LINK, R. (1970). *Statistical Analysis of Geological Data*. Dover, 375p.
- MORGENTAL, A.; BATOLLA JR., F.; PINTO, G.G.; PAIVA, I.P.; DRUMOND, J.B.V. (1975) Projeto Sudelpa: relatório final. São Paulo: SUDELPA/CPRM.
- MORGENTAL, A.; SILVA, A.A.G.P. DA; BORIN JR., T.; ALEGRI, V.; OLIVEIRA, P.E.P. DE. (1978). Projeto geoquímica no Vale do Ribeira: relatório final. DNPM/CPRM.
- MOURA, P. (1997). Potencialidade Mineral da porção média do Vale do Ribeira (SP) para Mineralizações Auríferas, obtida de um Sistema de Informação Geográfica – SIG. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 110 p.
- PERROTTA, M. (1996). Potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geoquímicos, geofísicos e de sensores remotos num Sistema de Informações Geográficas. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 150p.
- ROSE, A.; HAWKES, H.; WEBB, J. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, 657p.
- SILVA, A.A.G.P. DA. (1982). *Projeto Serra do Jabaquara: relatório preliminar de pesquisa de ouro, cobre, chumbo, e zinco do município de Capão Bonito (SP)*. CPRM.
- SINBIOTA – Sistema de Informação Ambiental (1999). Programa Biot/FAPESP: O Instituto Virtual da Biodiversidade. *In: <http://www.sinbiota.org.br>*.
- SOUZA FILHO, C.R. (2003). O Relevo das Américas Como Nunca Antes Visto. *Revista InfoGEO*. Número 30. p. 42-48.