

U. PORTO

FC **FACULDADE DE CIÊNCIAS**
UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Geociências,
Ambiente e Ordenamento do Território

MEMÓRIAS Nº 14



X Congresso de Geoquímica dos
Países de Língua Portuguesa

XVI Semana de Geoquímica

Porto, 28 de Março a 1 de Abril · 2010

Porto2010



DEOLINDA FLORES E MANUELA MARQUES, EDITORES



**Metodologia de interpretação de dados de sedimentos de corrente na CPRM
- Serviço Geológico do Brasil**

***Methodology of interpretation of stream sediments results in CPRM –
Serviço Geológico do Brasil***

José Leonardo Silva Andriotti

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, andriotti@pa.cprm.gov.br

Resumo

O presente trabalho apresenta a metodologia de interpretação de dados oriundos de campanhas de coleta de amostras de sedimentos de corrente na CPRM - Serviço Geológico do Brasil. As campanhas geoquímicas fazem parte dos programas de mapeamento geológico executados pelo Serviço Geológico do Brasil em todo o território brasileiro em várias escalas, as mais comuns nos sendo 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000.

Uma vez recebidos os resultados analíticos dos laboratórios selecionados se procede à interpretação dos mesmos sobre a base geológica gerada no projeto, a rede de drenagens existente e as ocorrências minerais cadastradas na área de trabalho, com a utilização do software adotado pela Empresa como padrão para apresentação dos resultados, o ArcGis. Também são utilizados softwares específicos para avaliação estatística dos resultados, como o Statistica®, que são utilizados para a interpretação univariada e multivariada dos resultados analíticos tratados.

Esta metodologia resulta em mapas de anomalias e de zonas anômalas, em relatório relacionando as principais feições geoquímicas identificadas com a geologia da área e em tabelas que listam amostras anômalas e suas particularidades.

Palavras chave: geoquímica, sedimentos de corrente, estatística, metodologia

Abstract

General aspects of interpretation of stream sediments results in Serviço Geológico do Brasil are presented and discussed in this paper. Geochemical surveys are linked with geological mapping at different scales like 1:250,000, 1:100,000 and 1:50,000.

The analytical results of stream sediments samples are studied over a geological basin generated in the same project, as with the stream net and the mineral occurrences present in the area.

The adopted softwares are ArcGis for the final presentation of results and Statistica® to the statistical treatment of the numerical results.

Keywords: geochemistry, stream sediments, statistics, methodology

Metodologia

As amostras de sedimentos de corrente são coletadas de forma composta no leito ativo da drenagem, ou seja, num raio máximo de 50 metros são tomadas porções que compõem a amostra a ser enviada para análise de laboratório. Todas as informações relevantes para a interpretação dos resultados são registradas em documento próprio. Estas informações, juntamente com os resultados analíticos gerados pelos laboratórios, são arquivadas na base de dados geoquímicos da CPRM, que faz parte do banco de dados institucional denominado GEOBANK, disponível para consulta em www.cprm.gov.br.

Inicialmente é feita a secagem das amostras a 60 °C, seguida de peneiramento a 80 mesh, pulverização e digestão com água régia e determinação do valor analítico por ICP-MS e ICP-AES para os elementos Au, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pd, Pt, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr. Dentre estes elementos existem alguns determinados em ppb, outros em ppm e outros em %, todos eles sempre com os limites inferiores de detecção registrados nos relatórios finais gerados. Faz parte dos procedimentos adotados a utilização de amostras duplicadas, no máximo em torno de 10% do total de amostras coletadas no programa. Também faz parte de todos os programas deste tipo a coleta de amostras de concentrados de bateia para análise e interpretação dos minerais pesados presentes nos mesmos locais em que são coletadas as amostras de sedimentos de corrente, e a interpretação se dá conjuntamente com todos os resultados de sedimentos de drenagem (esta metodologia – referente aos minerais pesados – não faz parte do presente trabalho). Todas as alíquotas devolvidas pelos laboratórios são arquivadas em central de armazenamento que o Serviço Geológico do Brasil mantém na cidade de Caeté (Minas Gerais), catalogadas e arquivadas para consultas.

Sobre os resultados analíticos de sedimentos de corrente é feita uma análise estatística univariada para todos os elementos analisados, com cálculo de alguns estimadores estatísticos (parâmetros de tendência central e de dispersão), estudo do tipo de distribuição, geração de histogramas e gráficos de probabilidades (que resulta em uma tabela detalhada dos estimadores estatísticos de cada elemento), também é feito um estudo das correlações existentes entre as variáveis disponíveis, e aplicada a análise multivariada para melhor compreensão das interações entre as diversas variáveis analisadas, sendo as mais utilizadas a análise de componentes principais e a análise de agrupamentos. A distribuição espacial dos elementos, em especial das anomalias, é feita por delimitação das bacias de captação das amostras de campo, são apresentados mapas de faixas de valores e também mapas com delimitação das bacias de drenagem identificadas como anomalias para os elementos estudados. Os valores são, em todas as etapas da interpretação, confrontados com as informações geológicas constantes no mapa geológico gerado, como litologias, feições estruturais, presença de ocorrências minerais, hidrotermalismo e outras.

Estatística univariada

Para as distribuições ajustadas ao modelo lognormal se opera a logtransformação dos valores brutos, determinando-se os valores de limiar (separação entre valores de background e anomalias) por logaritmos e retornando aos valores brutos correspondentes de limiar. A determinação dos valores de limiar normalmente é feita pelo método estatístico, utilizando-se as propriedades fundamentais da distribuição normal (ou lognormal, se for o caso). Este procedimento é equivalente à determinação dos parâmetros média e desvio geométrico e suas respectivas interpretações.

Para a interpretação dos resultados analíticos disponíveis para sedimentos de corrente são gerados mapas simplificados separando, para os elementos considerados como de maior interesse geológico pela equipe técnica do Projeto, os resultados em quatro faixas de valores. A primeira faixa é a que inclui as amostras de campo cujos resultados analíticos se situam desde o valor mínimo até o valor médio do elemento estudado (ou valor médio do seu logaritmo, para o caso de distribuições lognormais, com retrotransformação para valor bruto, ou sua média geométrica), e a segunda faixa de valores inclui os resultados entre o valor médio e o mesmo acrescido de um desvio padrão, ou entre a média geométrica e o produto da mesma pelo desvio geométrico (estas duas faixas contêm, juntas, cerca de 84% dos resultados disponíveis). A terceira faixa inclui valores entre a média mais um desvio padrão e a média mais dois desvios padrão, ou entre os valores correspondentes ao produto da média geométrica pelo desvio

geométrico e o produto desta média geométrica pelo quadrado do desvio geométrico (contendo cerca de 13,5% dos dados totais para distribuições ajustadas aos modelos teóricos utilizados), e a quarta faixa inclui em média 5% dos valores, sendo os 2,5% mais elevados aqui tratados como representando as anomalias presentes no conjunto de dados no caso de se ter interesse na faixa superior de concentração do elemento. A figura 1 mostra um exemplo de histograma gerado e sua forma de apresentação final.

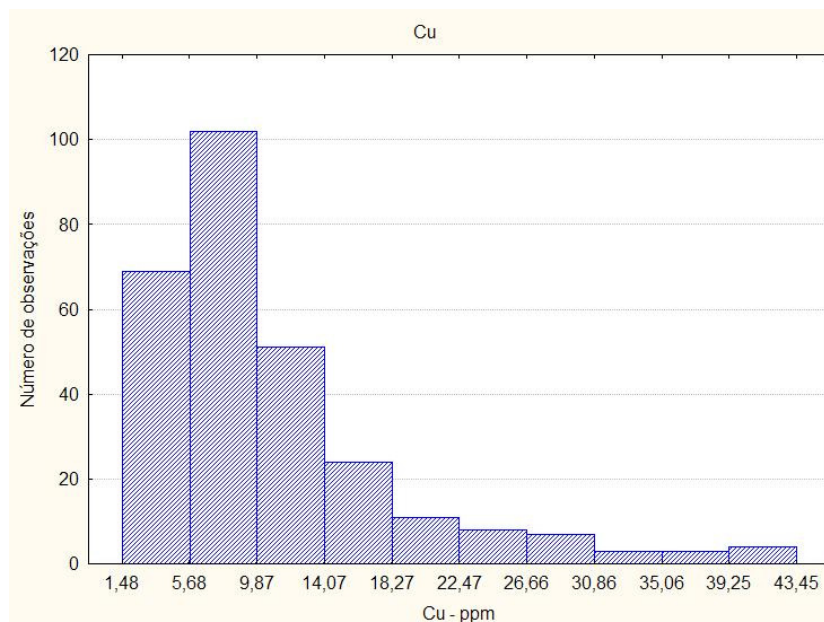


Figura 1 – exemplo de histograma gerado

A figura 2 mostra modelo de mapas gerados em sua forma padrão de apresentação nos relatórios gerados, com a delimitação das quatro faixas de valores citadas anteriormente. Neste tipo de representação, por se tratar de sedimentos de drenagem, cujos valores representam bacias e não simplesmente os respectivos locais em que se encontram, opta-se por simplesmente representar os valores pontualmente (as bacias de interesse são representadas em outro mapa).

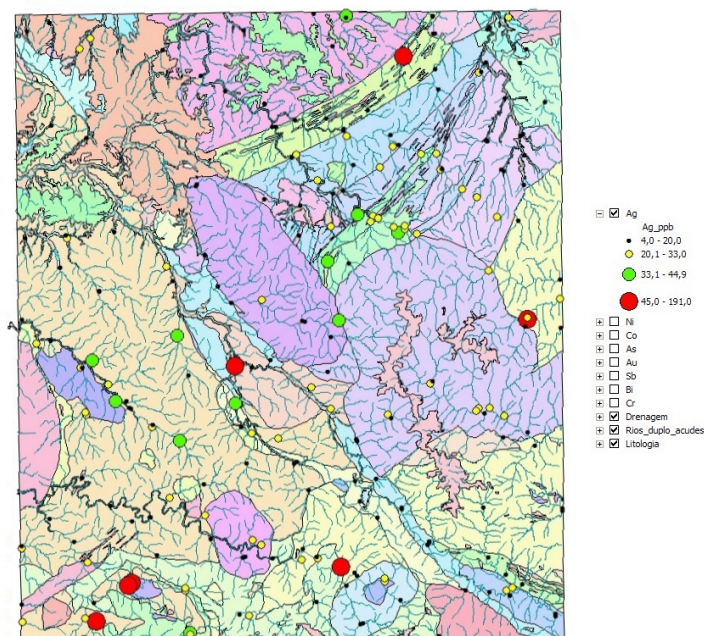


Figura 2 - modelo de mapas gerados

Estadística bivariada

Apresenta-se uma tabela contendo os valores das correlações lineares existentes entre as variáveis disponíveis, destacando-se as correlações cujos valores são mais elevados, e interpretando-as à luz da geologia da área. A figura 3 apresenta uma parte deste tipo de tabela, com cores assinalando as faixas de valores de correlação.

	Mo - ppm	Cu - ppm	Pb - ppm	Zn - ppm	Ag - ppb	Ni - ppm	Co - ppm	Mn - ppm	Fe - %	As - ppm	U - ppm	Au - ppb	Th - ppm
Mo - ppm	1,00	0,27	0,10	0,32	0,30	0,26	0,18	0,17	0,26	-0,23	0,16	-0,18	0,03
Cu - ppm		1,00	0,07	0,98	0,13	0,22	0,16	0,03	0,16	-0,02	0,01	-0,08	-0,03
Pb - ppm			1,00	0,13	0,29	0,32	0,38	0,13	0,44	0,09	0,46	-0,09	0,53
Zn - ppm				1,00	0,20	0,28	0,25	0,07	0,22	-0,03	0,01	-0,09	-0,03
Ag - ppb					1,00	0,52	0,45	0,15	0,42	-0,08	0,02	-0,15	-0,07
Ni - ppm						1,00	0,79	0,19	0,64	0,02	-0,02	-0,18	-0,01
Co - ppm							1,00	0,55	0,71	0,02	-0,03	-0,19	-0,03
Mn - ppm								1,00	0,40	-0,06	-0,02	-0,12	-0,03
Fe - %									1,00	-0,09	0,01	-0,23	0,07
As - ppm										1,00	0,21	0,09	0,24
U - ppm											1,00	-0,04	0,84
Au - ppb												1,00	-0,06
Th - ppm													1,00

Figura 3 - tabela com os valores das correlações lineares

Estadística multivariada

Este estudo é importante por buscar identificar associações multielementares porventura presentes, pois ao se analisar diversos elementos em um trabalho de exploração mineral se pressupõe que todos eles, ou a grande maioria dos mesmos, tenham tido algum papel no estabelecimento da paisagem geoquímica regional hoje detectável. Se vários deles, ou todos, tiverem tido influência neste resultado, não se pode pressupor que cada um tenha agido de forma a imprimir sua marca individualmente, ou seja, eles influenciaram por meio de suas características individuais e também por suas afinidades e interações com os demais elementos presentes. Em suma, não se justifica a análise individual de grande quantidade de elementos sem que se busque suas interações. Estas interações, é importante salientar, podem se manifestar por meio de associações, e estas nem sempre são evidentes e, mesmo quando o são, nem sempre têm uma explicação imediata em termos de processos geológicos-geoquímicos geradores. Os estudos deste tipo indicam ligações que o estudo individual dos elementos ou mesmo a simples correlação linear muitas vezes não conseguem captar. Algumas associações são claramente identificáveis com certos processos, outras não, mas quando a quantidade de amostras disponíveis for de grande tamanho (em termos estatísticos) todas as que aparecem com certo destaque devem ser analisadas com atenção.

Neste tipo de abordagem (estatística multivariada aplicada a resultados geoquímicos) também se determina zonas anômalas, mas das associações como um todo, e um dos ganhos que se pode obter para apoiar a interpretação é que às vezes as anomalias das associações não coincidem exatamente com as anomalias dos elementos individuais, às vezes alargam estas zonas, outras vezes desviam o foco para outras zonas que não apenas aquelas onde há anomalias dos elementos individuais. Isto é especialmente importante quando as anomalias dos elementos individuais não coincidem umas com as outras, o que é muito comum de ocorrer.

Pode-se aplicar aos dados analíticos a Análise de Agrupamentos (Cluster Analysis), técnica que busca formar, por similaridades e/ou dissimilaridades entre as diversas amostras ou entre as diversas variáveis disponíveis, grupos que incluam os indivíduos mais próximos entre si. A Análise de Agrupamentos pode ser aplicada por meio de muitas metodologias com o fito de confirmar os resultados obtidos. Dentre as metodologias mais comumente adotadas pode-se

citar Single Linkage, Complete Linkage, Weighted Pair-Group Average e Método de Ward, todas utilizando distâncias euclidianas. A Análise de Agrupamentos apenas sugere a existência de grupos entre as variáveis disponíveis, sendo necessários cuidados na sua aplicação, uma vez que diferentes algoritmos geram diferentes grupos. Estes cuidados incluem a verificação da consistência dos grupos gerados com a informação geológica disponível e pelos diversos métodos de agrupamento disponíveis. É uma técnica que parte do pressuposto de que não se sabe, *a priori*, da existência de determinada quantidade de grupos nos dados analíticos, ou seja, eles são sugeridos e não determinados como irrefutáveis. A figura 4 mostra um modelo de apresentação destes resultados na metodologia adotada pelo Serviço Geológico do Brasil.

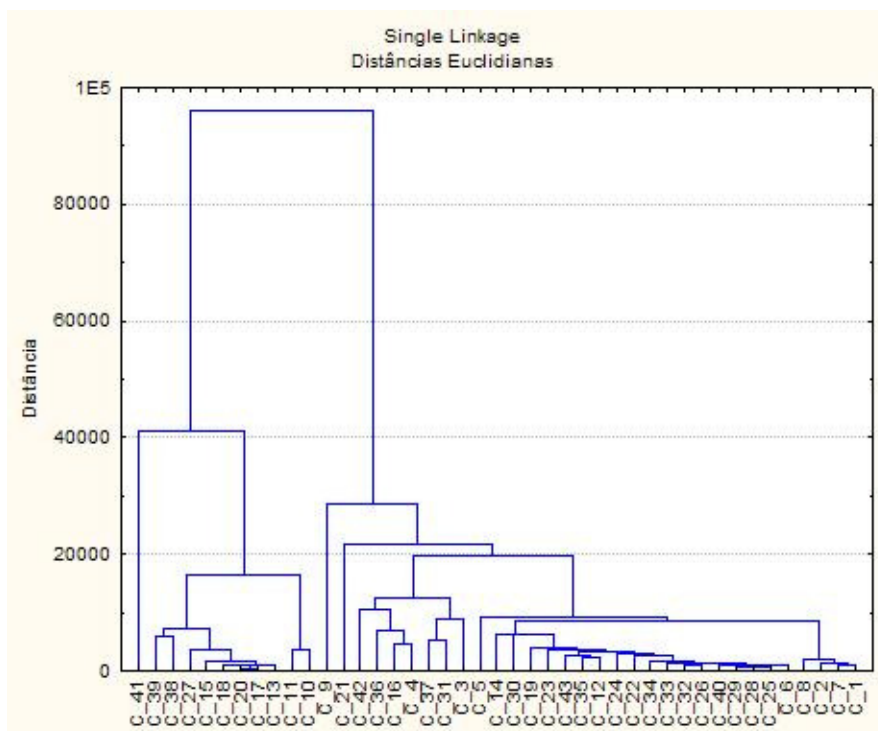


Figura 4 – resultados de Análise de Agrupamentos

O estudo de associações pode ser feito por meio da aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) às variáveis disponíveis. É uma técnica que gera variáveis hipotéticas formadas pelas variáveis originais, associadas entre si e cada uma portando um sinal (positivo ou negativo, significando correlação positiva ou negativa da respectiva variável com o processo que representa), cada nova variável hipotética se pressupõe representar um processo geológico atuante, que tanto pode ser um evento causador de mineralização, um processo de alteração, uma modificação posterior ocorrida na paisagem geoquímica, um evento estrutural ou outro que cause modificação nos padrões originais de distribuição dos elementos químicos nas suítes estudadas. A técnica de ACP cria variáveis hipotéticas que são composições lineares das variáveis originais, estas variáveis hipotéticas recebem o nome de Componentes Principais (as CPs), e são em mesmo número que as variáveis originais. Como é uma técnica que visa à redução da dimensionalidade do problema, são retidas apenas algumas novas variáveis (CPs) que expliquem um determinado percentual da variabilidade total presente nos dados originais. É considerada como apropriada para aplicação nos casos em que poucas variáveis hipotéticas expliquem grande parte da variabilidade total presente. Cabe salientar que sua utilização em trabalhos de exploração mineral, tanto em sedimentos de corrente como em litogeoquímica, é muito amplo, vem tendo crescimento muito grande a partir dos anos 80 e tem um longo histórico de utilizações em Geologia, grande parte considerada como de sucesso, pois que explicaram os processos atuantes de acordo com as teorias vigentes para a geologia dos locais de sua aplicação e tiveram seus resultados confirmados em campo. Aumenta a utilidade da aplicação da ACP a um conjunto de dados quando as associações representadas nas CPs podem ser associadas a processos geológicos definidos. Nem sempre esta associação é obtida, e em

outras vezes algumas delas simplesmente refletem o comportamento de uma das variáveis originais. Neste tipo de abordagem também se determina zonas anômalas, mas das associações como um todo.

Agradecimentos

Meus agradecimentos à CPRM – Serviço Geológico do Brasil, que me liberou os dados analíticos e a licença para divulgar a metodologia adotada, e ao colega Carlos Alberto Lins, por suas contribuições e revisão deste trabalho.