

Imagens geoquímicas em área de ocorrência de rochas ultramáficas no sudoeste do Rio Grande do Sul

D.L. Saldanha¹ & M.C. Lima e Cunha²

1 Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil; E-mail: dejanira.saldanha@ufrgs.br

2 Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil; e-mail: maria.cunha@ufrgs.br; casommer@sinos.net

Abstract This paper deals with geochemical images that represent the spatial distribution of chemical elements, which characterize the geochemical contrast of the mafic/ultramafic rocks associated to a granitic/gneiss context. The study area, situated in Rio Grande do Sul State, Brazil, is composed of harzburgites, serpentinites, amphibolites and magnesian schists, and has litholic soils and sparse and few species of vegetal covering. The data used in this work are Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Co, Ni contents and Ca/Mg, Fe/Mg and Fe/Ca ratios from soils of ultramafic and their encase rocks. The geochemical differentiation among the types of soils was obtained by comparing the intra-group with the global distribution parameters. A differentiation index (Di) was calculated and clearly display the geochemical contrast between the groups. The chemical images generate colored composition (RGB) that demonstrate the elements spatial distribution where are observed the Mg, Fe, Cr, Co and Ni enrichment.

Keywords: ultramafic rocks, geochemical images.

INTRODUÇÃO Dados extraídos de imagens multiespectrais TM/ Landsat 5 foram associados a dados de geoquímica de solos, visando o estabelecimento de relações entre a distribuição espacial de determinados elementos químicos e imagens orbitais indicadoras das diferenças na densidade vegetal existente em rochas ultramáficas do sudoeste do Rio Grande do Sul (Saldanha D.L.20003). Diversas técnicas de processamento de imagens digitais foram testadas, na busca de resultados que melhor representassem somente o alvo da pesquisa. No entanto, constatou-se que solos e rochas de natureza distinta são registrados com mesma intensidade e com mesma resposta espectral pelo sensor TM. Em vista disto foram acrescidas ao estudo, informações fornecidas por dados de geoquímica de solos, que resultaram em importantes complementos para a separabilidade de rochas ultramáficas no imageamento orbital.

Dentro do contexto geológico do SW do Rio Grande do Sul foi escolhida a área Cerro Mantiqueira por apresentar boa exposição de rocha e solos superficiais, vegetação diferenciada com relação àquela das rochas encaixantes e a existência de registros geológicos e geoquímicos resultantes de trabalhos anteriores. A área Cerro Mantiqueira está localizada no município de Lavras do Sul (coordenadas centrais 53°57'00"W e 30°53'30"S), situando-se a 15 km a SW da sede desse município (Fig. 1).

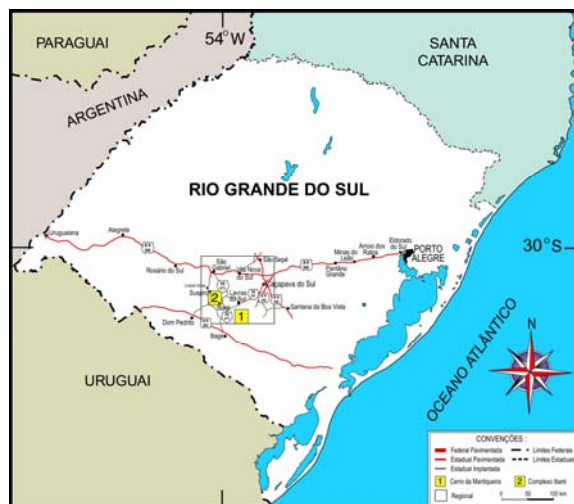


Figura 1. Localização da área Cerro Mantiqueira

ÍNDICE DE DIFERENCIAÇÃO GEOQUÍMICA

Saldanha *et al.* (2004) comparando a configuração das curvas espectrais dos solos sobrepostos às rochas ultramáficas da área Cerro Mantiqueira com a composição química dos mesmos constataram a presença de correlações significativas entre os dados espectrorradiométricos e os teores de alguns dos elementos químicos característicos da paragênese mineral dessas rochas.

Por meio do tratamento estatístico da transformação por componentes principais, aplicado aos dados espectrorradiométricos das amostras de solo foi possível a subdivisão das mesmas em grupos distintos de solos provenientes das rochas ultramáficas, das rochas anfíbolíticas e das rochas

encaixantes, com curvas espectrais diferenciadas. Para identificar o padrão geoquímico de cada grupo de solo foi aplicado o índice de diferenciação de Roquin *et al* (1989). Nesse processo, a distribuição estatística dos elementos químicos considerados, e seus índices, se caracterizou por três parâmetros, onde o valor da mediana é o *background* geoquímico e os percentis 5% e 95% correspondem a sua variação. A diferenciação geoquímica entre os grupos de rochas foi obtida pela comparação desses parâmetros com os parâmetros da distribuição total, por meio do **Id**, expresso como uma porcentagem da diferença da mediana de cada grupo, em relação à mediana total, relativa à variação do elemento considerado, conforme abaixo discriminado:

$$\text{Id} = 100X[\text{mediana do grupo} - \text{mediana total}] / (\text{percentil 95\%} - \text{percentil 5\%})$$

O valor de **Id** corresponde ao contraste geoquímico entre os grupos de amostras, podendo ainda se destacar o conjunto dos elementos que apresentam mesmo modo de diferenciação (Tab. 1 e Fig. 2).

	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4a	Grupo4b
Mn	-29,83	22,1	79,56	1,47	-13,99
Ni	-12,4	19,15	31,71	7,22	-12,24
Cr	-19,37	47,16	30,43	9,63	-19,02
Co	-18,95	33,68	14,74	13,47	-10,53
Fe	-34,06	30,83	33,64	0,84	-16,96
Ca	-17,66	13,68	-34,33	10,2	-9,45
Mg	-18,53	71,56	-9,78	14,53	-19,7
Ca/Mg	34,38	-9,99	-3,56	-3,22	32,68
Fe/Mg	23,07	-14,04	79,32	-9,9	33,94
Fe/Ca	-8,09	0,73	140,26	-6,23	2,47

Tabela 1. Valores dos índices de diferenciação geoquímica por grupo de amostras de solo da área Cerro Mantiqueira, RS

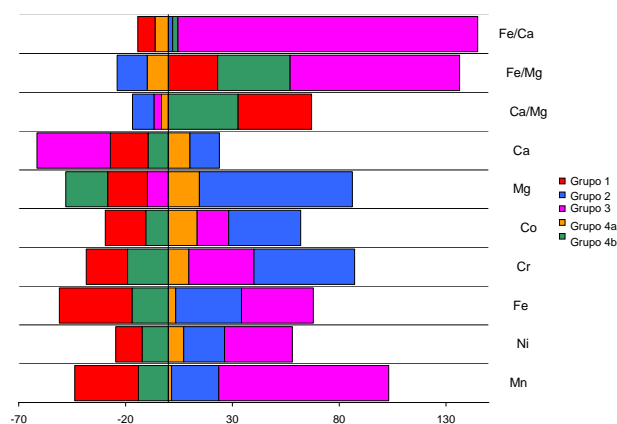


Figura 2. Representação gráfica dos índices de diferenciação geoquímica dos grupos de amostras de solo da área Cerro Mantiqueira, RS

Pelos dados da tabela 1 percebe-se que o Mn, Ni e Fe têm uma diferenciação idêntica, com níveis de *background* decrescendo das rochas ultramáficas (grupo 3, grupo 2 e grupo 4a) para as rochas anfibolíticas e encaixantes (grupo 4b e grupo 1). Da mesma forma, o Cr e Co apresentam *background* superior para rochas ultramáficas em relação às encaixantes. A diferença está na mudança de posição do grupo 3 e grupo 2, sendo esse último mais enriquecido em Cr e Co. Também é maior o enriquecimento de Mg, e secundariamente de Ca, nas rochas ultramáficas, embora haja um decréscimo relativo do Mg, e de forma mais acentuada do Ca, nas amostras do grupo 3. Esses dois elementos também se diferenciam nas rochas anfibolíticas, mais empobrecidas em Mg em relação às rochas encaixantes e tendo o Ca um comportamento inverso. A razão Ca/Mg é a que melhor retrata os grupos, uma vez que seu comportamento é oposto ao do Cr e Co. O índice Fe/Mg reflete um empobrecimento relativo do Mg nos grupos 1, 3 e 4b, e a razão Fe/Ca não retrata um padrão definido.

Os dados químicos de solo foram submetidos a cálculos de coeficientes de correlação de Pearson (Tab. 2), visando à indicação de quais elementos químicos melhor discriminam os grupos de amostras que, na forma de imagens geoquímicas, que elementos melhor realçam os alvos estudados. O resultado pode ser demonstrado em imagens coloridas, originadas a partir da combinação de três imagens geoquímicas representativas da variação entre os grupos de rochas, associando a elas as cores fundamentais RGB. Na composição colorida, a variação dos teores dos elementos é expressa como nuances de cor e suas combinações, e o brilho, proporcional à sua quantidade. A geração de imagens por processos de interpolação a partir de pontos é produto da transformação de uma distribuição discreta de atributos que representa teores dos elementos químicos em uma disposição contínua, originando-se assim regiões de valores intermediários, o que por vezes sugere uma continuidade inexistente (Davis 1986). Para superar esse problema estimou-se o limiar geoquímico por meio de histograma cumulativo das imagens dos elementos químicos e razões desses. No histograma, o ponto de inflexão máxima é o valor do DN que expressa o limiar dos elementos nas litologias (Crosta 1990).

O gráfico da figura 3 representa a distribuição dos teores de Mg *versus* Fe/Mg de amostras de solos da área de estudo. Nos solos sobrejacentes às rochas encaixantes e aos anfibolitos (grupos 1, 3 e 4b) apresentam índices de Fe/Mg mais altos, ao contrário das amostras dos solos das rochas ultramáficas (serpentinitos e xistos magnesianos - grupos 2 e 4a)

que tendem a índices com valores mais baixos. O Mg, com significativa correlação negativa (Tab. 2), discrimina melhor os grupos 2 e 4a dos demais.

A composição colorida representada na Fig. 4 foi gerada pela associação da imagem Cr em azul, Mg em verde e Fe/Mg em vermelho. A expressão dos valores mais altos desses elementos corresponde às cores fundamentais (azul, verde e vermelho), enquanto a combinação de Cr e Mg produz a cor ciano, Cr e Fe/Mg, a magenta, e Mg e Fe/Mg, a amarela. As imagens originais são expressas em números reais devendo ser transformadas para o formato byte/binário, onde o menor valor real é expresso pelo número digital (DN) 0 e o maior ao DN 255. Na Fig. 4, os afloramentos de rochas ultramáficas se apresentam em tons verde e ciano, indicando maior teor de magnésio e cromo, enquanto a cor vermelha, representativa das rochas básicas e encaixantes, revela um índice de Fe/Mg, mais elevado.

dos elementos químicos característicos da paragênese mineral de rochas ultramáficas ocorrentes do sudoeste do Rio Grande do Sul, utilizou-se a interpolação de dados referentes aos elementos Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Co, Ni (e razões Ca/Mg, Fe/Mg, Fe/Ca), obtidos em amostras de solo da área de estudo, Cerro Mantiqueira. Essas imagens, quando reunidas em tripletes, geraram composições coloridas (RGB) demonstrativas do enriquecimento de Mg, Fe, Cr, Co e Ni, nos solos das rochas ultramáficas, e da elevada razão Ca/Mg, nas rochas encaixantes. Correlações entre imagens geoquímicas e imagens orbitais mostram que a espectrorradiometria orbital retrata coerentemente as diferenças geoquímicas registradas entre os solos dos ultramafitos e os solos derivados de rochas encaixantes. Além dessa constatação, observou-se também o índice de diferenciação geoquímica descrito por Roquin descreve de forma conclusiva o comportamento geoquímico dos elementos analisados.

CONCLUSÕES Para a geração de imagens geoquímicas representativas da distribuição espacial

	Ca	Mg	Ca/Mg	Fe	Fe/Mg	Mn	Ni	Cr	Co	Fe/Ca
Ca	1,000	0,456**	0,002	0,101	-0,467**	-0,012	-0,088	0,024	-0,009	-0,460**
Mg	0,456**	1,000	-0,664**	0,492**	-0,689**	0,080	0,428**	0,597**	0,505**	-0,094
Ca/Mg	0,002	-0,664**	1,000	-0,444**	0,612**	0,006	-0,443**	-0,528**	-0,461**	-0,208
Fe	0,101	0,492**	-0,444**	1,000	-0,111	0,348**	0,832**	0,856**	0,885**	0,655**
Fe/Mg	-0,467**	-0,689**	0,612**	-0,111	1,000	0,286*	-0,210	-0,266*	-0,196	0,329**
Mn	-0,012	0,080	0,006	0,348**	0,286*	1,000	0,196	0,192	0,301*	0,206
Ni	-0,088	0,428**	-0,443**	0,832**	-0,210	0,196	1,000	0,922**	0,895**	0,657**
Cr	0,024	0,597**	-0,528**	0,856**	-0,266*	0,192	0,922**	1,000	0,882**	0,617**
Co	-0,009	0,505**	-0,461**	0,885**	-0,196	0,301*	0,895**	0,882**	1,000	0,688**
Fe/Ca	-0,460**	-0,094	-0,208	0,655**	0,329**	0,206	0,657**	0,617**	0,688**	1,000

** nível de significância de 0,01

* nível de significância de 0,05

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson (r) dos dados geoquímicos das amostras de solo da área Cerro Mantiqueira

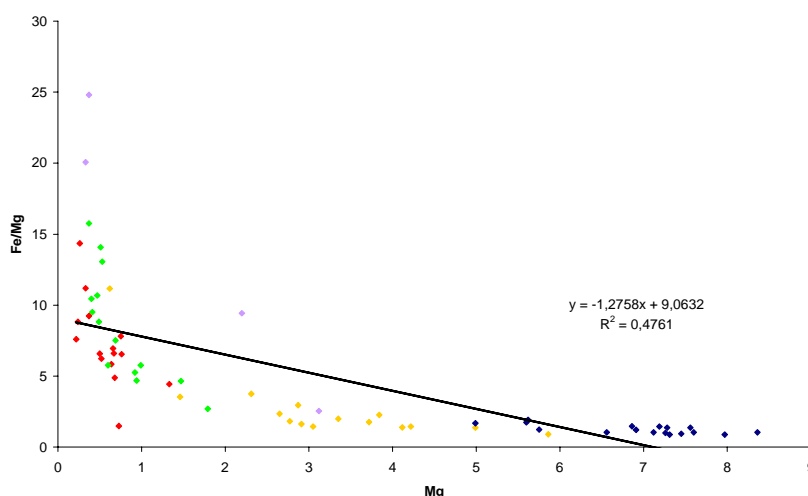


Figura 3. Distribuição dos teores de Mg versus Fe/Mg das amostras de solo da área Cerro Mantiqueira
Convenção: amostras do grupo 1-vermelho; grupo 2- azul; grupo 3- lilás; grupo 4a- laranja e grupo 4b- verde

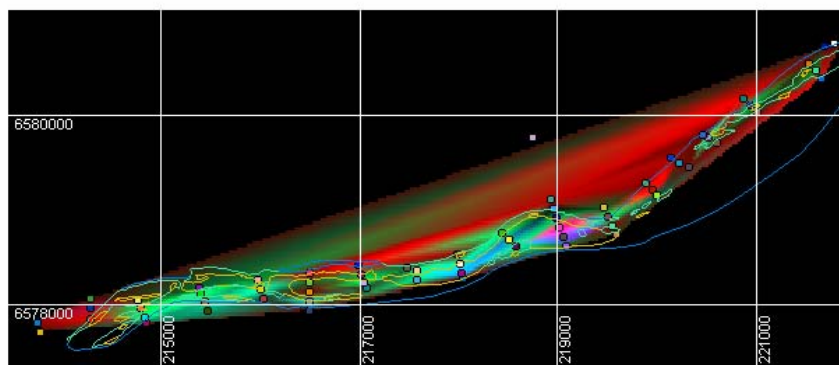


Figura 4. Imagem Cr (B), Mg (G) e Fe/Mg (R), referenciada ao sistema UTM, fuso 22S da área Cerro Mantiqueira

Referências

- CROSTA A.P. 1990. *Mapping of residual soils by remote sensing for mineral exploration in SW Minas Gerais State, Brazil*. Phd Thesis. Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, Londres. 452p
- DAVIS J.C. 1983. *Statistics and data analysis in geology*. New York. John Wiley & Sons, 646 p.
- SALDANHA D.L. 2003. *Características Espectrais de Unidades Ultramáficas do Sudoeste do Rio Grande do Sul - Integração de Dados Orbitais, Geobotânicos e Geoquímicos*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 279p.
- SALDANHA D.L., LIMA E CUNHA M.C., HAERTEL V. 2004. Spectral Analysis of Soils from Mafic/Ultramafic Rocks of Cerro Mantiqueira, SW of Rio Grande do Sul, Brazil (Integration of Spectroradiometric, Diffractometric and Geochemical Data). *International Journal of Remote Sensing*, **25**(20):4381-4393.
- ROQUIN C., DANDJINNOU T., FREYSSINET P.H., PION J.C. 1989. The correlation between geochemical data and SPOT satellite imagery of lateritic terrain in Southern Mali. *Journal of Geochemical Exploration*, **32**(2):149-168.