Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Relações Entre o Magnetismo e a Composição de Rochas Igneas. Aplicação no Complexo Básico de Lomba Grande, RS

Antonio Pedro Viero, Ari Roisenberg, Antonio Flavio Uberti Costa
Pesquisas em Geociências, 19(2): 115-119, Set./Dez., 1992.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21292>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1992.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

17/10/97

Relações entre o Magnetismo e a Composição de Rochas Ígneas. Aplicação no Complexo Básico de Lomba Grande, RS

ANTONIO PEDRO VIERO, ARI ROISENBERG E ANTONIO FLAVIO UBERTI COSTA

Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 29/05/92. Aceito para publicação em 25/11/92.)

Abstract — Studies on magnetic susceptibility of the Basic Complex Lomba Grande, municipality of Gravataí, RS, were carried out. The Complex is constituted of a hipabyssal gabbroic body with high MgO rates and several units of dolerites intruded in the sediments of Botucatu and Sanga do Cabral Formations. Analyses of hand specimens showed that the gabbroic body displays low magnetism ($\sim 2 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$), as opposed to that was expected to this kind of litology. This behaviour is due to the ilmenitic character and the weak proportion of its metallic minerals. The magnetic susceptibility of the studied lithologies indicates a negative correlation with MgO and a positive one with both SiO_2 and FeO, and also with the content of metallic minerals. The results demonstrate the high importance of minerals chemistry to a more accurate interpretation of magnetometric datas.

Resumo — Estudos de susceptibilidade magnética foram realizados no Complexo Básico de Lomba Grande, Município de Gravataí, RS, o qual é constituído por um corpo gabróico hipabissal, com elevados teores de MgO, e várias unidades de diabásios mais diferenciados, intrudidos nos sedimentitos das Formações Botucatu e Sanga do Cabral. Os dados, obtidos em amostras de mão, revelam que o corpo gabróico apresenta fraco magnetismo ($\sim 2 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$), contrariamente ao que é esperado em litologias desta natureza. Este comportamento decorre da fraca proporção e do caráter ilmenítico dos seus óxidos metálicos. A susceptibilidade magnética das litologias estudadas mostra correlação negativa com o MgO e positiva com o SiO_2 e o FeO, bem como o conteúdo dos minerais metálicos. Os resultados demonstram a importância dos estudos de química mineral para a interpretação mais segura dos dados magnetométricos.

SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA E APLICAÇÕES DE MAGNETOMETRIA NO ESTUDO DE ROCHAS ÍGNEAS

Susceptibilidade magnética (k) é a propriedade física que representa o maior ou menor grau de magnetização de uma substância na presença de um campo magnético (H). Sendo I a intensidade de magnetização, tem-se que:

$$I = k.H \text{ ou } k = I/H \quad (1)$$

A magnetometria mede o campo magnético terrestre total que, após correções rotineiras (principalmente a variação diurna e a redução do campo principal da terra), determina o campo magnético residual, o qual reflete linearmente o campo produzido pelas rochas. As variações da susceptibilidade magnética nas rochas e minerais dependem da presença de minerais magnéticos, principalmente a magnetita, em função da elevada intensidade da sua susceptibilidade magnética em relação aos demais. De uma forma global, salvo em casos especiais, considera-se que a magnetização induzida apresenta uma relação empírica com o teor de magnetita, expressa como (Balsley & Buddington, 1958):

$$\% \text{ magnetita} = 400 k_{\text{CGS}} = 32 k_{\text{SI}} \quad (2)$$

A interpretação de dados magnéticos consiste em explicar o significado geológico dos padrões magnéticos associados aos diferentes tipos de rochas. Nas ígneas tais padrões dependem da composição químico-mineral

lógica e da morfologia do corpo.

O presente estudo tem por objetivo contribuir para um conhecimento maior das relações entre a susceptibilidade magnética e a composição química e químico-mineralógica das rochas ígneas básicas, fornecendo melhores subsídios à interpretação dos resultados, através da aplicação em um corpo gabróico, cujo comportamento desvia-se dos padrões apresentados na bibliografia.

METODOLOGIA

Os valores de susceptibilidade magnética aparente foram obtidos com um instrumento Kappameter de marca ABEM, modelo CTA, que permite leituras diretamente em afloramentos ou em amostras de mão, com sensibilidade de $0,02 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$ (Unidade do Sistema Internacional), numa faixa de 0 a $500 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$. As medidas foram efetuadas em amostras do Complexo de Lomba Grande (Viero, 1991) que abrangem um amplo espectro químico e mineralógico, permitindo a correlação destas propriedades com a susceptibilidade magnética.

RELAÇÕES ENTRE A SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA E A COMPOSIÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS

“As propriedades magnéticas das rochas são determinadas pela partição do Fe entre os óxidos de Fe-Ti e os silicatos de Fe-Mg, o que é controlado, principalmente, pela fugacidade do Oxigênio e temperatura e, secundariamente, pela composição química” (Grant, 1985).

A fugacidade de Oxigênio (fO_2) exerce uma função determinante na cristalização de espécies minerais durante o resfriamento de um corpo ígneo. A intensidade da fO_2 é mais elevada nas rochas ígneas ácidas, pois é intimamente vinculada à composição do magma e diretamente proporcional ao conteúdo de H_2O , que sob altas pressões dissocia-se conforme a reação:

Como a susceptibilidade magnética corresponde, a grosso modo, à medida da concentração de magnetita na rocha, tem-se que as concentrações de ferro e titânio no magma constituem outro fator de igual importância na definição desta propriedade física.

Assim, deve-se ressaltar algumas restrições à assertiva de Grant (1985), quando se refere à influência secundária da composição química nas propriedades magnéticas das rochas. Do mesmo modo, cabe assinalar que o efeito da temperatura na composição mineralógica de rochas ígneas é decorrente de sua composição química global, que determina a posição das curvas *solidus* e *liquidus*.

Rochas básicas, de um modo geral, são enriquecidas em Fe, se comparadas com as rochas ácidas, o que redundará numa maior concentração de óxidos de Fe e Fe-Ti. O enriquecimento em ferro, entretanto, nem sempre determina uma maior susceptibilidade magnética das rochas básicas, pois, como o potencial de oxidação (Eh) é menor, a proporção de óxido de Fe (magnetita) para óxidos de Fe-Ti (ilmenita e ulvoespínlio) é inferior.

Por outro lado, significativa cristalização de silicatos ferromagnesianos (olivina, piroxênio, anfibólio) nas rochas básicas, gera um outro polo de consumo de ferro durante o resfriamento da massa magmática. Este fato pode provocar uma redução na concentração de óxidos metabólicos e, em consequência, na intensidade da susceptibilidade magnética. Em rochas ácidas, por outro lado, condições menos oxidantes inibem a cristalização de magnetita em detrimento de olivina faiálica, de acordo com a seguinte reação:

As condições de resfriamento de líquidos magmáticos contribuem de forma significativa no comportamento magnético de rochas ígneas. Quando a perda de calor processa-se lentamente, como em corpos plutônicos, os óxidos de Fe-Ti, (titano-magnetita), sofrem reações de exsolução, gerando ilmenita e magnetita como fases individuais, o que resulta num aumento da susceptibilidade magnética. Nas rochas eruptivas ou hipabissais, onde uma única fase em solução sólida persiste, mesmo que metaestavelmente, tal comportamento não é verificado.

A magnetização da magnetita é mais intensa quando o cristal cresce com eixo [111] paralelo à direção do campo magnético (Valêncio, 1980), estando a intensidade da susceptibilidade magnética da rocha, portanto, vinculada a processos de fluxo magmático que orien-

tam os cristais de acordo com a direção do movimento. Em magmas de composições intermediárias (andesítica e traquítica, principalmente), que possuem viscosidades adequadas, as estruturas de fluxo ficam cicatrizadas na rocha, na qual o magnetismo é afetado pela orientação da foliação.

APLICAÇÃO DA MAGNETOMETRIA NO COMPLEXO BÁSICO DE LOMBA GRANDE

Aspectos geológicos

O Complexo Básico de Lomba Grande localiza-se no Município de Gravataí, RS, e é constituído por diversas unidades litológicas básicas de idade triássica superior (Viero & Roisenberg, no prelo), intrudidas nos arenitos da Formação Botucatu e nos sedimentos da Formação Sanga do Cabral (Fig. 1).

A massa dominante do Complexo, com volume mínimo de 95% em relação ao total do conjunto, é representada por um olivina-gabro de textura médio-grosseira (OGG), que possui uma nítida margem resfriada de granulometria fina (OGF), contendo até 35% de olivina modal. A assembléia de minerais essenciais é composta, ainda, por plagioclásio e clinopiroxênio, enquanto o ortopiroxênio, óxidos metálicos e apatita constituem as fases acessórias.

Estudos químico-mineralógicos (Viero, 1991) revelam a ocorrência de duas gerações de minerais metálicos, sendo uma primária de ilmenita e outra secundária, subordinada, representada por magnetita.

A intrusão gabróica encontra-se parcialmente encapsulada por um Diabásio Envolvente. Este contém dois litotipos, sendo um caracterizado pelo aspecto microporfirítico (DM), com marcadas estruturas brechóide e amigdaloidal, e o outro pelo caráter afírico (DA). O plagioclásio e o clinopiroxênio são os minerais essenciais nos dois litotipos, enquanto os óxidos metálicos são relativamente abundantes. Raros fenocristais de olivina, invariavelmente reativos com o líquido magmático, são identificados no DM.

Estudos químico-mineralógicos (Viero, 1991) apontam a presença de magnetita e titano-magnetita, sendo a primeira mais abundante no DA.

Um corpo intrusivo de pequenas dimensões (0,2 km de diâmetro) é encontrado a leste da intrusão gabróica, sendo constituído por dois diabásios faneríticos médio-finos, similares ao Diabásio Envolvente, individualizados pela presença ou não de fenocristais de olivina (diabásio olivínico e diabásio não olivínico, respectivamente).

Estudos magnetométricos

Dados magnetométricos (Tab. 1) revelam fraca susceptibilidade magnética aparente no Olivina-gabro, em particular no OGG, onde a média é da ordem de $1,5 \times 10^{-3} \mu SI$. Este comportamento contrasta com o do Diabásio Envolvente Afírico que se mostra fortemente magnético, possuindo valores médios de susceptibilidade magnética aparente entre 28×10^{-3} e $35 \times 10^{-3} \mu SI$. O Diabásio Envolvente Microporfirítico e o Diabásio Orien-

Figura 1 — Mapa geológico simplificado e de localização do Complexo Básico de Lomba Grande, RS.

AMOSTRA	MINERAIS METÁLICOS	OLIV	CPX	PLAG	FeO	MgO	SiO ₂	χ_{SI} x10 ⁻³
LG-16 ¹	6,7	14,4	26,1	52,9	9,94	11,78	47,21	12,0
LG-24 ¹	4,3	18,4	26,3	50,6	10,98	10,45	47,21	6,0
LG-41 ¹	4,9	18,2	26,2	50,6	10,18	10,73	46,27	4,6
LG-42 ¹	4,6	17,9	27,0	50,3	10,19	12,56	46,01	5,8
LG-57 ¹	9,7	17,8	27,7	45,0	10,88	10,64	46,11	7,6
LG-09 ²	2,0	33,0	21,7	39,4	10,74	17,59	45,93	1,6
LG-12 ²	1,8	22,2	24,2	51,2	10,83	14,90	46,58	2,8
LG-21 ²	0,5	31,5	23,8	41,5	10,63	19,03	44,79	2,0
LG-22 ²	2,8	23,8	25,9	44,7	10,34	19,38	45,23	2,0
LG-23 ²	2,8	22,0	21,6	50,1	10,20	18,39	45,30	2,3
LG-25 ²	0,8	35,2	26,5	36,5	9,83	19,10	45,45	2,4
LG-26 ²	2,0	30,8	24,0	41,5	10,26	16,83	45,90	1,0
LG-27 ²	1,3	31,7	28,3	38,2	10,34	19,83	44,67	2,0
LG-44 ²	0,8	33,1	27,3	34,7	10,96	22,43	43,34	2,5
LG-45 ²	0,6	28,7	33,1	36,7	10,64	21,92	43,76	5,9
LG-47 ²	0,7	25,2	26,5	43,1	10,98	18,84	44,96	8,6
LG-48 ²	1,8	26,7	28,6	38,1	10,14	20,79	44,32	1,4
LG-50 ²	1,7	32,3	22,8	39,8	9,90	21,24	44,27	1,9
LG-51 ²	1,1	25,3	24,4	43,7	10,80	21,17	43,56	1,5
LG-52 ²	2,0	31,8	24,4	36,9	10,63	21,14	44,49	1,4
LG-54 ²	1,8	24,7	27,8	43,8	10,51	19,89	44,26	1,8
LG-64 ²	1,0	31,2	21,0	39,0	10,33	20,75	44,70	1,3
LG-65 ²	1,7	22,9	29,1	41,4	9,54	19,59	44,74	1,0
LG-66 ²	1,3	32,7	28,2	33,6	11,00	20,82	44,55	1,1
LG-67 ²	0,5	34,3	23,2	35,5	10,05	19,57	45,18	2,2
LG-68 ²	1,6	22,6	21,9	46,4	10,67	18,59	44,97	0,8
LG-69 ²	1,5	26,1	25,9	39,3	10,72	17,95	44,79	1,8
LG-70 ²	1,3	23,6	22,4	46,7	10,69	17,53	44,89	1,8
LG-07 ³	12,6	—	18,5	68,8	13,22	5,47	53,03	35,5
LG-56 ³	12,7	—	20,8	63,4	11,97	3,30	56,51	29,0
LG-01 ⁴	8,2	—	39,5	49,9	9,86	5,56	52,86	28,0
LG-33 ⁴	7,0	1,0	39,7	51,3	12,55	4,31	51,72	6,0
LG-74 ⁴	6,0	1,7	32,7	53,0	9,55	6,55	49,32	2,0
LG-37 ⁵	3,1	—	37,3	43,4	9,98	6,41	51,84	19,5
LG-38 ⁵	1,7	4,4	41,2	42,4	9,51	12,42	50,23	4,3

Tabela 1 — Composição modal não normalizada para 100%, concentrações de MgO, FeO e SiO₂, e intensidade da susceptibilidade magnética no Complexo Básico de Lomba Grande, RS. 1 - OGF; 2 - OGG; 3 - DA; 4 - DM; 5 - Diabásio Oriental.

tal apresentam magnetismo relativamente baixo, similar ao OGF, estando a média próxima a $10 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$.

A susceptibilidade magnética no Complexo Básico de Lomba Grande varia numa relação direta com os conteúdos de minerais metálicos e de sílica, sendo inverso o comportamento do magnésio (Fig. 2). O ferro apresenta forte dispersão, com intensidade constante no OGG para todo o intervalo composicional.

Figura 2 — Variação da susceptibilidade magnética ($\mu\text{SI} \times 10^{-3}$) em relação ao conteúdo de SiO_2 , FeO , MgO e minerais metálicos (M.M.) no Complexo Básico de Lomba Grande, RS. Cruzes = OGG; retângulos vazios = OGF; retângulos cheios verticais = DM; xis = DA; retângulos cheios horizontais = Diabásio Oriental.

A influência dos óxidos metálicos na intensidade da susceptibilidade magnética é mais clara quando comparada entre as diferentes unidades litológicas, crescendo a partir do OGG até o DA, sendo intermediários o OGF, o Diabásio Oriental e o DM. No OGG, a variação na concentração das fases metálicas não se traduz em alterações desta propriedade física, o que decorre da natureza ilmenítica destes minerais. A magnetita é o

único óxido metálico presente no DA, DM e Diabásio Oriental, estando associado à ilmenita no OGF, o que justifica as maiores susceptibilidades magnéticas nestas litologias. Cabe enfatizar o elevado magnetismo da amostra LG-1 (DM), marcadamente distinto das demais amostras deste litotipo, o que deve ser relacionado à presença de magnetita secundária.

A susceptibilidade magnética apresenta uma fraca correlação com a concentração de FeO , o que é mais evidente na fácies grossa do Olivina-gabro (Fig. 2). O comportamento do OGG pode ser entendido face à inexistência de magnetita, estando o ferro distribuído integralmente nas fases silicatadas (olivina - $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ e piroxênio - $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$) e ilmenita, de modo que a sua concentração não afeta a susceptibilidade magnética da rocha.

O fraco magnetismo do DM em relação ao DA, deve estar associado ao seu relativo enriquecimento em clinopiroxênio (Tab. 1), reduzindo a disponibilidade de FeO para a cristalização de magnetita.

CONCLUSÕES

O complexo Básico de Lomba Grande possui um comportamento magnético nitidamente anômalo, se comparado a outras litologias básicas referidas na literatura (Tab. 2). A baixa susceptibilidade magnética do Olivina-gabro, em particular na fácies grossa ($\sim 2 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$), é resultante da natureza ilmenítica dos óxidos metálicos, o que infere sua cristalização num ambiente com relativamente baixa fugacidade de Oxigênio. Por outro lado, o regime térmico, caracterizado pelo resfriamento lento, provavelmente não influenciou na susceptibilidade magnética do Olivina-gabro, já que não são registrados intercrescimentos de magnetita e ilmenita, que seriam o produto da exsolução da titanomagnetita. Da mesma forma, o magnetismo mais fraco no Diabásio Microporfirítico ($\sim 4 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$) em relação ao tipo Africano ($\sim 30 \times 10^{-3} \mu\text{SI}$), possuindo conteúdos similares de FeO , é um reflexo provável do potencial de oxidação inferior, o que inibe a cristalização de óxidos metálicos (magnetita) em detrimento do piroxênio.

TIPO LITOLÓGICO	Nº DE AMOSTRAS	$\mu\text{SI} \times 10^{-3}$
Basalto*	37	37,07
Gabro*	37	12,44
Pedras Pretas (ultrabásicas)**	10	15,46
Pedras Pretas (básicas)**	4	11,27
Lomba Grande (OGG)	23	2,22

Tabela 2 — Valores da susceptibilidade magnética de rochas básicas e ultrabásicas. * = Grant & West (1965); ** = CPRM (inédito).

A variação observada na susceptibilidade magnética do Complexo Básico de Lomba Grande, com relações direta e inversamente proporcionais aos conteúdos de SiO_2 e MgO , respectivamente, contraria a concepção de que o magnetismo cresce com a basicidade da rocha. Esta análise não levou em conta a ocorrência de campos magnéticos remanentes nas diversas litologias, aliçada em levantamento terrestre, onde são detectadas apenas anomalias magnéticas normais, com baixos

ao Sul e altos ao Norte (Fig. 3), e nas idades jurássico-cretáceas, quando o campo magnético era próximo ao atual. Faz-se necessário, portanto, que todos os fatores potencialmente influentes, como a fugacidade de Oxigênio, a composição mineralógica da rocha, o regime do resfriamento do magma e a existência de foliação primária sejam considerados conjuntamente na análise dos resultados magnetométricos de rochas ígneas.

O estudo de rochas ígneas encontra na magnetometria uma fonte de subsídios que alicerçam a interpretação petrológica, principalmente no que se refere às condições de oxidação do magma progenitor. A intensidade do Eh determina a partição do FeO entre as fases silicatadas e os óxidos metálicos, bem como a composição destes (ilmenita ou magnetita), o que irá definir as características magnéticas da rocha.

Figura 3 — a) Anomalias magnéticas teóricas calculadas para corpos tabulares com diferentes mergulhos, considerando somente a magnetização induzida do campo atual e tendo como parâmetros: inclinação magnética = 33° ; declinação magnética = -11° ; intensidade do campo magnético total = 23.500 nT; azimuth do perfil = 0° ; contraste de susceptibilidade magnética = 0,0100 e.m.u. b e c) Anomalias magnéticas observadas no interior do Olivina gabro. d) Anomalia magnética detectada no contato entre o Olivina gabro (ao Sul) e o arenito Botucatu (ao Norte), gerada pelo DA que ocorre em subsuperfície (Viero, 1991). O padrão determinado no modelo teórico - baixos ao Sul e Altos ao Norte - repete-se no Olivina gabro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balsley, J. R. & Buddington, A. F. 1958. Iron-titanium oxide minerals, rocks and aeromagnetic anomalies of the Adirondack area, New York. *Economic Geology*, 53: 777-805.
- Grant, F. S. 1985. Aeromagnetism, geology and ore environments,

- II. Magnetite and ore environments. *Geoexploration*, 23: 335-362.
- Valêncio, D. A. 1980. *El magnetismo de las rocas*. Buenos Aires, Eudeba. 351 p.
- Viero, A. P. 1991. *Petrologia e geoquímica do Complexo Básico de Lomba Grande, RS*. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 176 p.