

Classificação de granitos hercínicos portugueses com base nas suas características petrofísicas

Classification of Portuguese Hercynian granites based on petrophysical characteristics

CH. SANT'OVAIA¹ & F. NORONHA²

Abstract

Magnetic susceptibility measurements have been widely used as lithologic indicator in granitic rocks or in the broad discrimination between paramagnetic (ilmenite-type granites¹) and ferromagnetic granitoids (“magnetite-type granites²”). In the paramagnetic granites, magnetic susceptibility is a valuable tool for the distinction between granites where muscovite contents is higher than biotite contents and granites where the inverse occurs. On the other hand, the analysis of the magnetic anisotropy can be used to document internal fabrics of granitic rocks and can be related to the strain pattern to which the magma was subjected. In this work, a classification for Hercynian granites based on the magnetic susceptibility and paramagnetic anisotropy values is proposed. For the granites belonging to the “ilmenite-type”, the magnetic susceptibility value of 70×10^{-6} SI is considered as a boundary between granites with muscovite equal or higher than biotite and granites with biotite higher than muscovite. Values of paramagnetic anisotropy can be divided into three groups: anisotropy lower than 2%, anisotropy comprised between 2.5% and 4% and anisotropy higher than 4%. This magnetic anisotropy distinction is related to the magma emplacement which can be tectonically driven (syntectonic granites), late-tectonically driven (late-tectonic granites) or with a post-tectonic nature (post-tectonic granites).

Key words: granites, Hercynian, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS), ferromagnetism, paramagnetism, structure, emplacement, classification.

(1) GIMEF- Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto. Praça Gomes Teixeira 4099-002, Porto, Portugal, hsantov@fc.up.pt

(2) GIMEF - Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto. Praça Gomes Teixeira 4099-002, Porto, Portugal, fmnoronh@fc.up.pt

INTRODUÇÃO

A temática do presente trabalho insere-se no domínio da petrofísica e mais concretamente no estudo do “magnetismo de rochas” e é uma contribuição para a caracterização estrutural de granitos hercínicos portugueses através das suas propriedades magnéticas. A técnica do estudo da “Anisotropia da Susceptibilidade Magnética” (ASM) permite uma análise sistemática dum maciço granítico, proporcionando dados direccionais (foliação e lineação magnética) que podem ser comparados com os da foliação e lineação magmática. Para além disso, obtêm-se também, parâmetros quantitativos que estão relacionados com a composição química e com a taxa de deformação que sofreram as rochas.

Neste trabalho apresentam-se dados de ASM de granitos portugueses com vista à sua caracterização magnética e estrutural e, assim, pretende-se contribuir para um melhor conhecimento geológico dos maciços graníticos a que pertencem. Nos estudos efectuados, procedeu-se, sempre que possível, para além do estudo da ASM, a um estudo prévio dos maciços que englobasse conhecimentos geológicos, petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e sempre que possível geofísicos (gravimetria). Propõe-se também uma classificação com base em características petrofísicas (susceptibilidade magnética e anisotropia magnética) para os granitos hercínicos e apresenta-se a comparação desta classificação com a proposta por FERREIRA *et al.* (1987).

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Os granitos cujos resultados apresentamos estu-dados pertencem a três tipos distintos de acordo com a classificação de FERREIRA *et al.* (1987): granitos pós-tectónicos, granitos sin a tardi-tectónicos e granitos sintectónicos relativamente à terceira fase da deformação hercínica (D₃) de idade intra-veste-faliana.

No primeiro grupo, incluem-se os granitos dos maciços de Vila Pouca de Aguiar (VPA), Águas Frias (Chaves), Lavadores e Madalena (Gaia), Caria e Vila da Ponte (também designado por granito da Bezelga); no segundo grupo, incluem-se granitos do maciço de Castro Daire e no terceiro grupo, incluem-se os granitos da Gralheira, Serapicos Minheu e Lagoa (fig. 1).

Estes maciços localizam-se no interior da Zona Centro-Ibérica (ZCI) com excepção dos granitos de Lavadores e da Madalena que se localizam na fronteira desta zona com a Zona Ossa Morena (ZOM).

Os granitos dos maciços de VPA, Águas Frias, Vila da Ponte e Caria são granitos porfiróides biotíticos de granulometria variável, todos semelhantes em termos mineralógicos e geoquímicos (TEIXEIRA *et al.* 1972; 1974; FERREIRA & SOUSA 1994; MARTINS 1998; SANT'OVAIA *et al.* 2003a).

Os granitos de Lavadores e da Madalena são granitos biotíticos porfiróides mas a fácies de Lavadores evidencia a presença de magnetite como principal opaco, enquanto que a fácies da Madalena apresenta magnetite em menor quantidade e também ilmenite (SILVA 1995; SILVA & NEIVA 1998).

O complexo granítico de Castro Daire é constituído por granitos biotíticos porfiróides (granitos de Castro Daire e Calde), assim como por granitos de duas micas que afloram centralmente (granito de Alva) (SCHERMERHORN 1980).

Os granitos da Gralheira, Serapicos, Minheu e Lagoa são granitos de duas micas e apresentam mineralogia muito semelhante (NORONHA *et al.*, 1998; SANT'OVAIA 2000).

MATERIAL E MÉTODOS

Uma rede de amostragem que cubra o afloramento de cada um dos maciços graníticos é extremamente importante para a validação estatística dos dados obtidos. Assim a metodologia utilizada foi a da realização de uma rede de amostragem de malha quadrada de 1 km, sendo realizados em cada estação quatro furos, para obtenção de quatro testemunhos, utilizando uma sonda portátil. No laboratório, os testemunhos foram cortados perpendicularmente ao seu eixo, obtendo-se dois cilindros individuais (22 mm de altura por 25 mm de diâmetro). Cada estação está, assim, representada em média por cerca de oito amostras.

Assim, os estudos realizados basearam-se nas medições feitas em 830 amostras para o complexo granítico de Castro Daire, 892 para o lacólito de Vila Pouca de Aguiar, 336 e 323 para os maciços de Caria e Vila da Ponte respectivamente, 93 para os granitos de duas micas, 80 para o granito de Águas Frias e 28 para os granitos de Lavadores e da Madalena. De referir que no caso de Águas Frias, de Lavadores e

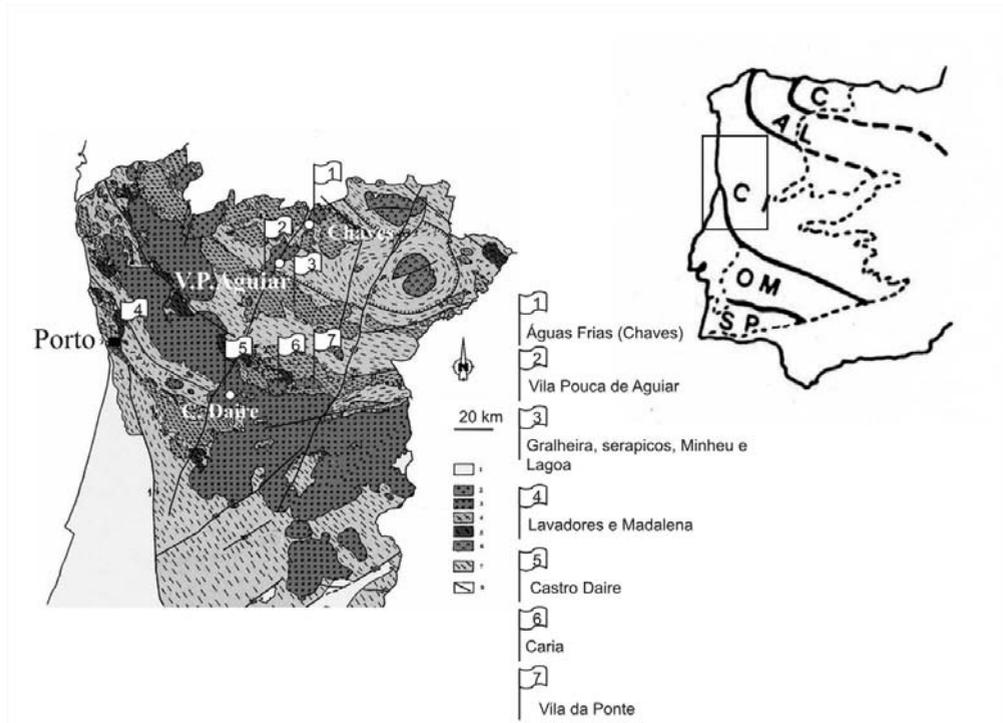


Fig. 1 – Localização dos granitos estudados

Legenda: 1- Pós-Paleozóico; 2-5 Granitóides hercínicos: 2-Granitos biotíticos pós-tectónicos; 3- Granitos biotíticos tardi-tectónicos; 4- Granitos de duas micas sintectónicos; 5- Granitos biotíticos sintectónicos; 6-Complexos ultrabásicos; 7- Rochas metassedimentares de idade do Câmbrio ao Carbonífero; 8-Falhas (Ferreira et al. 1987, modificado). C: Zona Cantábrica; AL: Zona Astúrico-Leonesa, CI: Zona Centro-Ibérica; OM: Zona Ossa Morena; SP: Zona Sul portuguesa.

Madalena a amostragem vai prosseguir, pelo que os resultados apresentados são preliminares.

Quando um material é exposto a um campo magnético H , adquire uma magnetização induzida, M . A magnetização induzida e o campo magnético H estão relacionados através da susceptibilidade magnética K : $M=KH$

K é um escalar se o corpo é isotrópico. Se o corpo é anisotrópico a susceptibilidade magnética K é representada por um tensor simétrico de 2ª ordem da forma: $M_i=K_{ij}H_j$ ($i, j=1,2,3$) em que M_i traduz a magnetização na direcção i , H_j representa o campo indutor efectivo na direcção j .

A superfície representativa daquele tensor é um elipsóide triaxial. Medindo a magnetização induzida em três direcções ortogonais acede-se aos termos diagonais e simétricos do tensor. A diagonalização desta matriz permite obter três vectores K_{11} , K_{22} ,

K_{33} . A intensidade desses três vectores próprios e a sua orientação (direcção e inclinação) no referencial geográfico fornecem os semi-eixos do elipsóide da Anisotropia da Susceptibilidade Magnética (ASM) tal que: $K_{11}=K_1$ ou K_{max} ; $K_{22}=K_2$ ou K_{int} ; $K_{33}=K_3$ ou K_{min} com $K_{max} \Delta K_{int} \Delta K_{min}$.

As unidades de campo magnético e de magnetização induzida são as mesmas, A/m (ampere por metro, no Sistema Internacional, S.I.), o que converte a susceptibilidade magnética numa grandeza adimensional.

As medições de ASM foram realizadas no Kappabridge KLY-2 e KLY-3 (no “Laboratoire de Pétrophysique et Tectonique” da Universidade Paul Sabatier de Toulouse) e na balança de susceptibilidade magnética MS-2B Bartington (1 Oe; 0.46 KHz) no Departamento de Geologia da FCUP. No tratamento automático dos ficheiros de dados utilizou-se

o programa “Exams” (SAINT BLANQUANT, 1994), que calcula as médias para cada estação: de susceptibilidade (K), intensidades e orientações dos eixos K_1 , K_2 e K_3 ($K_1 \geq K_2 \geq K_3$), de anisotropia paramagnética ($P_{para} \% = 100 \times (k_1 + 1,4) / (k_3 + 1,4) - 1$), do parâmetro de forma do elipsóide ($T = [2 \ln(K_2/K_3) / \ln(K_1/K_3)] - 1$), da lineação magnética (paralela à direcção de K_1) e da foliação magnética (azimute e inclinação do plano perpendicular a K_3). Os resultados foram projectados nos mapas dos vários maciços estudados.

No caso dos granitos de Lavadores e Madalena, somente apresentamos os dados relativos à susceptibilidade magnética, para todos os outros são apresentados os resultados referentes à susceptibilidade magnética, anisotropia magnética e dados magne-toestruturais.

RESULTADOS

Susceptibilidade Magnética e Anisotropia Magnética

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados dos valores de susceptibilidade encontrados em todos os granitos estudados.

Com excepção dos granitos de Lavadores e Madalena, todos os outros granitos estudados apresentam valores de susceptibilidade fracos evidenciando um comportamento paramagnético que é devido ao ferro contido em silicatos como a biotite. Os granitos biotíticos apresentam valores médios de susceptibilidade magnética superiores a 70×10^{-6} SI, enquanto que os granitos de duas micas apresentam valores inferiores a 70×10^{-6} SI (Fig.2).

No granito de Lavadores a susceptibilidade magnética média é de 16620×10^{-6} SI enquanto que para o granito da Madalena o valor médio é de 8390×10^{-6} SI.

No maciço de Vila Pouca de Aguiar, os valores da susceptibilidade magnética são variáveis: o granito de Pedras Salgadas (GPS) tem valores médios de 67×10^{-6} SI e o granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA) valores médios de 135×10^{-6} SI. O contacto entre estas duas fácies corresponde à isolinha de K igual a 90×10^{-6} SI (SANT'OVAIA *et al.* 2000).

No maciço granítico de Castro Daire encontram-se dois grupos de susceptibilidades: um com

valores médios de 63×10^{-6} SI e outro com valores médios de 86×10^{-6} SI (SANT'OVAIA *et al.* 2003b). O primeiro grupo corresponde a fácies de duas micas e o outro às fácies biotíticas do maciço.

Nos maciços de Caria e Vila da Ponte os valores da susceptibilidade são concordantes com o carácter paramagnético, valores médios de $73,6 \times 10^{-6}$ SI e $79,2 \times 10^{-6}$ SI respectivamente, e apresentam-se homoganeamente distribuídos não tendo sido possível estabelecer zonamentos no interior de cada maciço.

No maciço de Águas Frias, as susceptibilidades magnéticas medidas evidenciam um carácter paramagnético, valores médios de $92,0 \times 10^{-6}$ SI (SANT'OVAIA *et al.* 2003a).

Quanto à anisotropia paramagnética (P_{para}), os granitos pós-tectónicos evidenciam valores sempre inferiores a 2% (fig.2). Nos granitos sin a tardiectónicos os valores de P_{para} são sempre mais elevados dependendo do seu grau de deformação. No entanto na maioria dos granitos estudados os “fabrics” magnéticos são essencialmente magmáticos e somente em casos em que P_{para} é superior a 4% (granitos da Gralheira e Serapicos) se observa, ao microscópio, uma deformação, que teria ocorrido já no estado sólido, susceptível de modificar o “fabric” magmático original.

Elipsóide de ASM, foliações e lineações magnéticas

Os dados magne-toestruturais incluem três tipos de dados: a forma do elipsóide de ASM, as foliações e as lineações magnéticas.

(i) Elipsóide de ASM

Para a caracterização da forma do elipsóide de ASM, utilizou-se o parâmetro T (JELINEK, 1981), considerando-se que o elipsóide é achatado (“oblate”) quando $0 < T \leq 1$ e constrito (“prolate”) se $-1 \leq T < 0$ (Tabela 1). Verifica-se que para os granitos paramagnéticos estudados a forma do elipsóide é geralmente achatada (fig.3) o que se relaciona com o facto dos minerais mais anisotrópicos (do ponto de vista magnético), presentes, serem micas.

(ii) Foliações magnéticas

No caso dos maciços de VPA, Castro Daire, Águas Frias, Vila da Ponte e Caria, as foliações magnéticas tendem a ser paralelas aos contornos

dos maciços.

magnéticas apresentam-se fracamente inclinadas

Nos granitos de VPA e Águas Frias as foliações

Granito	N	K (x 10 ⁻⁶ SI)	Intervalo de variação	Desvio padrão	P _{para} %	Intervalo de variação	Desvio padrão	T	Intervalo de variação	Desvio padrão
GPS (VPA)	35	67,8	44,5 – 121,0	16,2	2,1	1 – 4,9	0,7	0,23	-0,14 – 0,67	0,2
GVPA (VPA)	81	135,5	60,0 – 218,3	31,0	1,0	0,6 – 2,3	0,3	0,12	-0,28 – 0,55	0,2
Vila da Ponte	38	79,2	23,0 – 219,8	26,4	1,6	0,4 – 4,1	0,6	0,13	-0,89 – 0,93	0,4
Caria	42	73,6	56,9 – 91,9	7,2	1,9	0,8 – 3,9	0,5	0,22	-0,27 – 0,69	0,2
CDaire (fácies 2 micas)	23	63,6	43,0 – 90,4	11,0	3,2	1,2 – 5,4	1,2	0,32	-0,52 – 0,63	0,3
CDaire (fácies biotítica)	79	85,6	38,3 – 137,0	21,1	3,6	1,8 – 6,1	0,9	0,25	-0,29 – 0,60	0,2
Gralheira	3	49,6	47,5 – 51,9	1,8	5,4	3,2 – 6,7	1,6	0,29	0,21 – 0,36	0,1
Minheu/Lagoa	7	55,7	35,4 – 71,3	11,4	2,2	1,2 – 3,6	0,9	0,28	0,00 – 0,61	0,2
Serapicos	7	64,6	45,1 – 86,2	12,9	4,0	1,8 – 5,1	1,2	0,12	-0,37 – 0,62	0,4
Águas Frias	10	92,0	81,5 – 103,0	8,6	1,7	1,3 – 4,0	0,4	0,26	0,01 – 0,52	0,2

Tabela 1 – Médias da susceptibilidade magnética (K), anisotropia paramagnética (Ppara) e parâmetro de forma (T). N é o número de estações de amostragem.

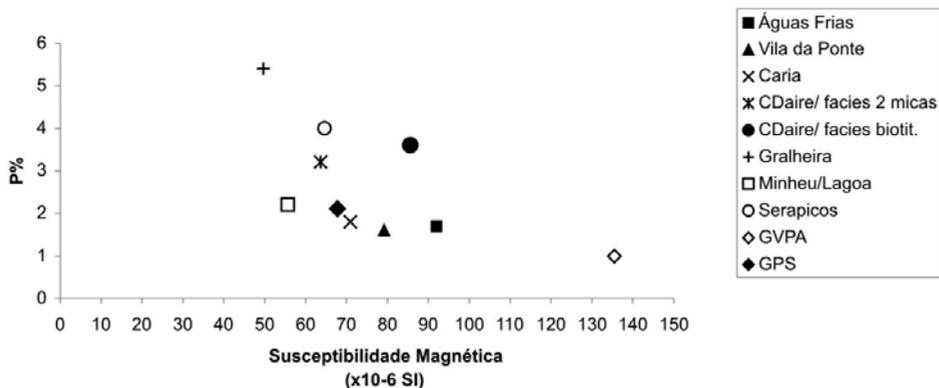


Fig. 2 – Relação entre a susceptibilidade magnética (K) e a anisotropia paramagnética (Ppara) para os granitos paramagnéticos estudados.

(inclinações médias de 34° e 14° respectivamente) para o exterior dos maciços (Tabela 2). No caso do maciço de VPA a passagem da fácies do granito de Pedras Salgadas à fácies do granito de Vila Pouca de Aguiar não influencia o traçado das foliações magnéticas (fig. 4).

No maciço granítico de Castro Daire, ao contrário do caso precedente, na passagem da fácies periférica para a fácies central, observa-se a oposição do sentido de inclinação das foliações magnéticas (as foliações inclinam para o interior do maciço na fácies periférica e para o exterior na fácies mais

interna). Para além disso, as foliações apresentam fortes pendores (superiores a 45°) quando comparadas com as dos maciços de VPA e Águas Frias (fig. 4).

Nos maciços de Vila da Ponte e Caria as foliações são também paralelas aos contornos dos maciços e inclinadas para o exterior do maciço. As foliações apresentam pendores fracos no caso do granito de Vila da Ponte (valor médio de 30°) e pendores elevados no caso do granito de Caria (valor médio de 51°) (fig. 4).

Nos granitos sintectónicos, é frequente a presença de foliações magnéticas com direcções e pendores variáveis. Para o granito da Gralheira e

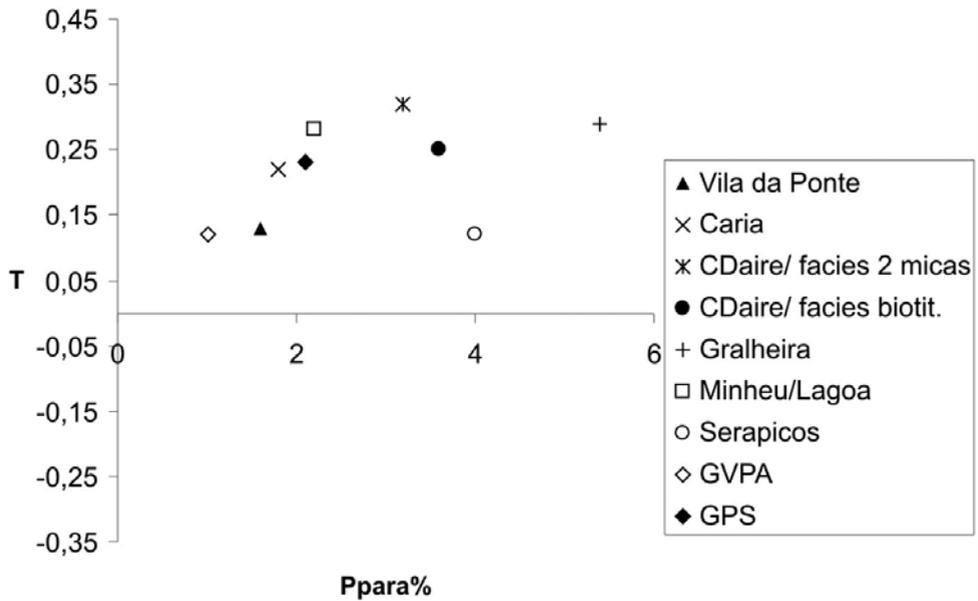


Fig. 3 – Relação entre a anisotropia paramagnética (Ppara) e o parâmetro de forma T.

Granito	Lineação (azimute, inclinação)	Foliação (direcção, inclinação)
VPA	191°; 06°	N025°; 34° NW
Águas Frias	113°; 12°	N020°; 14° SE
Vila da Ponte	344°; 15°	N033°; 30° NW
Caria	338°; 03°	N178°; 51° W
CDaire (facies 2 micas)	348°; 38°	N10°; 45° W
CDaire (facies biotítica)	353°; 18°	N169°; 75° E
Gralheira	155°; 47°	N153°; 70° NE
Minheu/Lagoa	325°; 01°	N196°; 15° E
Serapicos	133°; 16°	N133°; 32° SW

Tabela 2 – Resultados magnetoestruturais. Média da lineação e da foliação magnética para cada maciço estudado. O número de estações de amostragem é o mesmo da tabela 1.

Serapicos, a direcção média das foliações varia entre N153° e N133° com pendores 70° e 32° respectivamente. Para os granitos de Minheu e Lagoa a foliação média tem baixo pendor (15°) e direcção N196°.

(iii) Lineações magnéticas

As lineações magnéticas têm azimutes geralmente subparalelos com os acidentes tectónicos ao longo dos quais os maciços se intruíram, e nos casos de VPA, Águas Frias, Vila da Ponte, Caria e Castro Daire materializam o fluxo magmático (fig. 5).

No caso do maciço de VPA as lineações são fracamente inclinadas com um azimute médio de N190°, havendo portanto um paralelismo entre as lineações magnéticas e a falha Penacova-Régua-Verin (Tabela 2 e fig. 5). Já no maciço de Águas Frias, as lineações magnéticas são fracamente inclinadas e com um azimute médio N113°.

No maciço granítico de Castro Daire as lineações magnéticas têm geralmente inclinações inferiores a 40° e tendem a contornar os limites do complexo granítico. Os valores médios das lineações magnéticas para a fácies central e para as fácies periféricas são semelhantes com azimutes em torno de N350° que parecem materializar estruturas recentes associadas à falha Penacova-Régua-Verin. No entanto, no sector NE na periferia, há um conjunto de lineações muito fracamente inclinadas com azimute em torno dos N140° (fig. 5).

Nos maciços de Caria e Vila da Ponte, as lineações magnéticas são fracamente inclinadas (cerca de 10°) e com azimutes em torno de N340° (fig. 5).

Nos granitos sintectónicos da Gralheira e Serapicos, as lineações magnéticas apresentam atitudes com azimute variando de N130° a N150° com pendores mais baixos para Serapicos (16° de valor médio) e mais elevados na Gralheira (47° de valor médio). Nos granitos de Lagoa e Minheu, registam-se lineações magnéticas fracamente inclinadas com azimute médio N325°.

DISCUSSÃO

Com os dados obtidos para os diferentes maciços, tendo em conta que para alguns dos granitos (Lavadores, Madalena e Águas Frias) o estudo ainda é preliminar, é possível proceder a uma sistematização dos resultados e interpretações:

Se uma rocha contém minerais paramagnéticos como constituintes comuns e se a sua susceptibilidade magnética é superior a 10^{-3} SI, (TARLING & HROUDA, 1993) então a susceptibilidade da rocha é devido à presença de uma fracção ferromagnética (magnetite), o que é o caso do granito de Lavadores o que permite incluir este granito no grupo dos “magnetite type granite” (ISHIAHARA, 1977) o que tem implicações petrogenéticas importantes (MARTINS *et al.*, 2004). No caso do granito da Madalena, a susceptibilidade magnética é devida a contribuições de fracções ferromagnéticas e paramagnéticas (ilmenite e biotite). Com excepção do granito de Lavadores e Madalena, todos os outros granitos estudados apresentam valores de susceptibilidade fracos evidenciando um comportamento paramagnético, uma vez que K é inferior a 10^{-4} SI e pertencendo, portanto, ao grupo “ilmenite type granite”. Valores com uma ordem de grandeza como a observada nos granitos de Lavadores e da Madalena asseguram a presença de uma fracção ferromagnética (magnetite) sendo portanto o comportamento não exclusivamente paramagnético como nos outros granitos estudados.

A susceptibilidade magnética pode ser utilizada como um parâmetro útil na distinção de fácies graníticas, nomeadamente nos casos dos maciços de Vila Pouca de Aguiar e de Castro Daire.

O zonamento encontrado no interior de cada fácies, nomeadamente no caso de Vila Pouca de Aguiar, relaciona-se com processos de diferenciação magmática. Neste maciço, os valores da susceptibilidade magnética põem em evidência a existência de duas fácies que são diferentes em termos de granulometria e abundância de biotite: o granito de Pedras Salgadas (GPS) e o granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA). Estes granitos apresentam um zonamento normal (aumento da susceptibilidade magnética do centro para a periferia), quer a nível do maciço, quer no interior de cada fácies.

Nos granitos paramagnéticos estudados, as fácies com duas micas apresentam, em média, valores de susceptibilidade inferiores aos granitos biotíticos, pelo contrário, os valores de anisotropia são, em média, mais elevados para os granitos de duas micas (moscovite?biotite). Nestes granitos em que a moscovite é mais abundante que a biotite, embora o comportamento magnético destes dois minerais seja semelhante, os mais baixos valores da susceptibili-

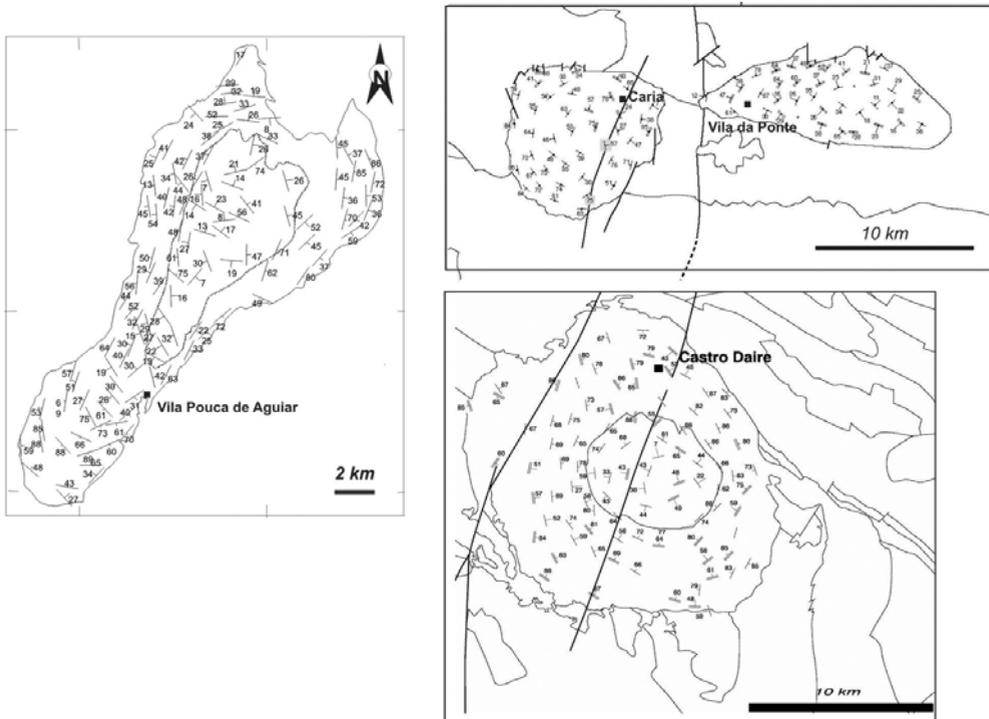


Fig. 4 – Foliações magnéticas nos maciços de Vila Pouca de Aguiar, Caria e Castro Daire.

dade magnética justificam-se pela susceptibilidade magnética intrínseca que é menor na moscovite.

As diferenças nos valores da susceptibilidade têm como a justificação a mineralogia e por isso o valor de K tem sido muito usado como indicador mineralógico em rochas graníticas. Diferenças dos valores de K têm sido correlacionados com mudanças de fácies em corpos graníticos (GLEIZES *et al.* 1993). Para além disso, K reflecte o comportamento magnético do granito o que está dependente do conteúdo em ferro e da fugacidade de oxigénio do magma que o originou.

Os granitos pós-tectónicos apresentam sempre valores de anisotropia paramagnética, P_{para} , inferiores a 2,2%. Nos granitos sin a tarditectónicos os valores de P_{para} são sempre mais elevados dependendo do grau de deformação dos granitos. No entanto na maioria dos granitos estudados os “fabric” magnéticos são essencialmente magmáticos. Nos granitos em que a anisotropia paramagnética é superior a 4% observa-se já uma deformação

no estado sólido susceptível de modificar o “fabric” magmático original. Este grau de deformação é visível no campo e é evidenciado na análise das microestruturas que, na sua maioria, são indicativas de deformação no estado sólido de alta temperatura.

Nos granitos paramagnéticos estudados a forma do elipsóide de ASM é geralmente achatada o que se relaciona com o facto dos minerais mais anisotrópicos (do ponto de vista magnético) presentes serem micas. As micas apresentam uma anisotropia magnetocristalina que condiciona um plano de fácil magnetização que coincide com o plano de clivagem. A organização planar dos planos de clivagem, essencialmente da biotite, condiciona a forma achatada do elipsóide de ASM.

Nos granitos biotíticos estudados as foliações magnéticas são paralelas aos contornos dos maciços. Nos granitos de VPA, Águas Frias e Vila da Ponte são pouco inclinadas, enquanto que nos restantes granitos apresentam pendores mais elevados, relacionáveis com a forma mais laminar ou mais

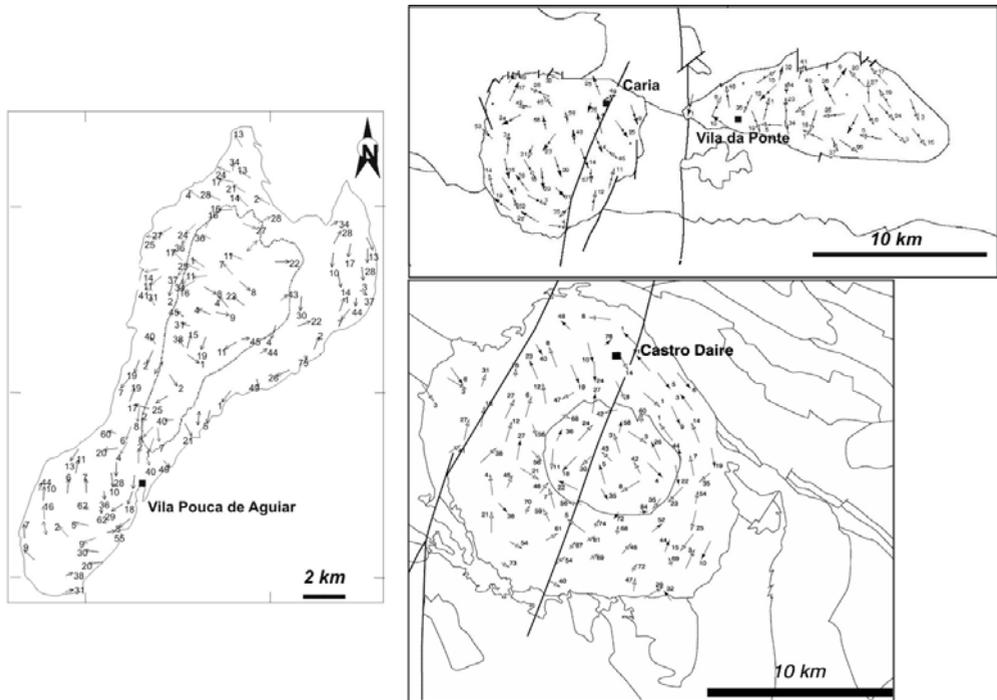


Fig. 5 - Lineações magnéticas nos maciços de Vila Pouca de Aguiar, Caria e Castro Daire.

enraizada dos maciços. Discordâncias no sentido do pendor das foliações permitem identificar e distinguir fácies ou pulsações magmáticas. Este aspecto é particularmente notório no caso do complexo de Castro Daire em que a fácies central é discordante relativamente à fácies periférica, o que indica fases diferentes de estruturação e de instalação. Já no maciço de VPA a passagem da fácies do granito de Pedras Salgadas à fácies do granito de Vila Pouca de Aguiar não influencia o traçado das foliações magnéticas, o que é indicativo de que houve uma co-estruturação das duas fácies ainda num estado magmático e uma instalação quase síncrona.

As lineações magnéticas têm azimutes geralmente paralelizáveis com os acidentes ao longo dos quais estes maciços se intruíram e materializam fluxos magmáticos. Para os granitos de VPA há um paralelismo entre as lineações magnéticas N190° e a falha Penacova-Régua-Verin. Nos maciços de Vila da Ponte e Caria, as lineações têm direcções NNW-SSE. Estas lineações materializam possivelmente campos de tensões pós-D3 com a tensão compres-

siva máxima N-S. Em Castro Daire, as famílias de lineações materializam fluxos magmáticos controlados pelo cisalhamento do Sulco Dúrico-Beirão (lineações muito fracamente inclinadas com azimute em torno dos N140°) e pela intersecção de estruturas relacionadas com esse cisalhamento e com estruturas mais recentes associadas à falha Penacova-Régua-Verin. Estes factos permitem considerar estes granitos como sin a tardi tectónicos relativamente a D₃, com a estruturação de todo o complexo num estado ainda magmático para as duas fácies principais e associada a um regime dúctil-frágil dos acidentes tectónicos (falha Penacova-Régua-Verin e cisalhamento do Sulco Dúrico-Beirão)

A dominância de lineações fracamente inclinadas em detrimento de lineações magnéticas verticais ou subverticais, permite provar que os incrementos de deslocamento horizontal registados pelo “fabric” foram maiores que os incrementos de deslocamento vertical, pelo que as zonas de alimentação destes

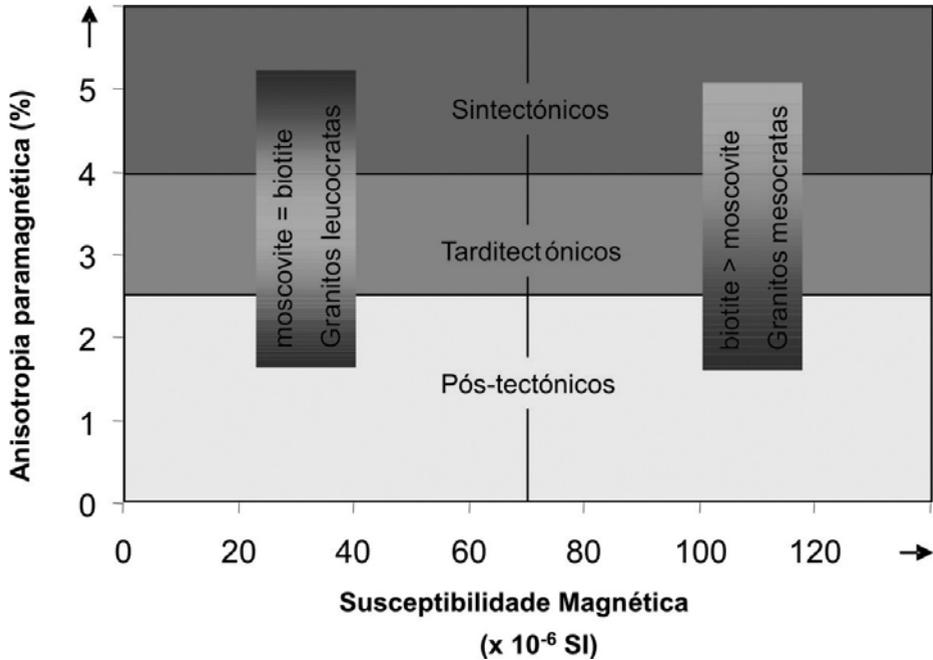


Fig. 6 - Classificação proposta para granitos do grupo “ilmenite-type”.

mачios estão distantes em profundidade. Este aspecto favorece a ideia de uma instalação para estes granitos a níveis estruturais altos.

Nos granitos sintectônicos, é frequente a presença de foliações e lineações magnéticas com direcções que correspondem a cisalhamentos dúcteis e que materializam um “fabric” deformacional relacionado com a estruturação D3.

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO

Os resultados obtidos, bem como a sua interpretação, levou-nos a propor uma classificação para os granitos hercínicos baseada na susceptibilidade magnética e na anisotropia paramagnética.

A susceptibilidade magnética pode ser relacionada com a abundância relativa em biotite e moscovite. Assim para granitos do grupo “ilmenite type”,

ou seja, em granitos com comportamento paramagnético, considera-se o valor de susceptibilidade 70×10^{-6} SI como a “fronteira” entre granitos em que o teor de moscovite é superior ou igual ao teor em biotite e granitos em que o teor da biotite é superior a moscovite.

Quanto à anisotropia paramagnética, os valores podem ser agrupados em três grupos: valores baixos ou inferiores a 2,5%, valores intermédios ou compreendidos entre 2,5 e 4% e valores elevados ou superiores a 4%. Estes três grupos podem ser relacionados com a classificação em granitos sintectônicos, tardi e pós-tectônicos de Ferreira *et al.*, (1987).

A classificação proposta apresentada, (fig. 6) representa os diferentes grupos de granitos.

CONCLUSÕES

A medição da susceptibilidade magnética para rochas graníticas permite o conhecimento do tipo de granito nomeadamente o seu enquadramento no grupo dos “magnetite-type” ou “ilmenite type” e consequentemente das condições de fugacidade em oxigénio dos magmas a partir dos quais esses granitos cristalizaram.

Os diferentes valores de anisotropia relacionam-se com o grau de deformação que os granitos apresentam, o que permite a classificação destes granitos quanto ao período de instalação. Neste contexto, as diferenças de anisotropias encontradas para os granitos vem pôr em evidência, o seu carácter pós-tectónico, tarditectónico e sintectónico. A ASM pode assim funcionar como um “marcador” da intensidade de deformação que o magma sofreu. Uma classificação com base em parâmetros petrofísicos (susceptibilidade magnética e anisotropia paramagnética) é assim recomendada.

As lineações e as foliações magnéticas dão-nos informações relativas à orientação do fluxo magmá-

tico, profundidade da zona de raiz, estruturação das diferentes fácies que constituem o maciço e a relação do processo de instalação com os acidentes tectónicos.

A riqueza de informação fornecida pelos estudos de ASM combinada com o conhecimento geológico, petrográfico e geoquímico dos maciços graníticos permite uma caracterização estrutural e cinemática destes corpos fundamentais na compreensão da evolução geológica duma determinada região.

Recibido: 8/6/2005

Aceptado: 10/8/2005

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, N.; IGLÉSIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, E.; RIBEIRO, A. & RIBEIRO, M.L. (1987). Granitos da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea, A. Carnicero, J. Gonzalo, M. Lopez Plaza & M. Rodriguez Alonso, Eds, *Geología de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hesperico*, p. 37-51. Editorial Rueda, Madrid. (Libro de Homenaje a L.C. García de Figuerola).
- FERREIRA, N & SOUSA, M.B. (1994). Carta Geológica de Portugal, 1:50000. Folha 14-B – Moimenta da Beira. Serviços Geológicos de Portugal/Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.
- GLEIZES, G.L.; NEDELEC, A.; BOUCHEZ, J.L.; AUTRAN, A. & ROCHETTE, P. (1993). Magnetic susceptibility of the Mount-Louis Andorra ilmenite-type granite (Pyrenees): a new tool for the petrographic characterisation and regional mapping of zone granite plutons. *J. Geophys. Res.* 98: 4317-4331.
- ISHIHARA, S. (1977). The Magnetite-series and the Ilmenite-series Granitic rocks. *Mining Geology*, 27: 292-305.
- JELINEK, V. 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-67.
- MARTINS, H.C.B. (1998). *Geoquímica e petrogénese de granitos tardi-tectónicos e pós-tectónicos. Implicações metalogénicas*, 288 pp. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. Tese de Doutoramento.
- MARTINS, H.C.B.; SANT'OVAIA, H.; EUSÉBIO, N.B. & NORONHA, F. (2004). Zircon typology and magnetic susceptibility of late Variscan granites in Porto area (Northern Portugal). *Mem. e Notícia, Publi. Mus. Lab. Mineral. Geol.*, (Nova Série), Univ. Coimbra, nº2. (em impressão).
- NORONHA, F.; RIBEIRO, M.A.; MARTINS, H.C. & LIMA, J. (1998). Carta Geológica de Portugal, 1:50000. Folha 6-D - Vila Pouca de Aguiar. Serviços Geológicos de Portugal/Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.
- SAINT BLANQUANT, M. (1994). *EXAMS, an Excell macro for automatic computing of AMS data*. Université de Toulouse. (Programa não publica-do).
- SANT'OVAIA, H. (2000). *O maciço granítico pós-tectónico de Vila pouca de Aguiar. Estudo petroestrutural e mecanismo de instalação*. 314 pp. Universidade do Porto. Université Paul Sabatier (Toulouse III). Tese de Doutoramento.
- SANT'OVAIA, H. ; BOUCHEZ, J.L. ; NORONHA, F. ; LEBLANC, D., VIGNERESSE, J.L. (2000). Composite-laccolith emplacement of the post-tectonic Vila Pouca de Aguiar granite pluton (northern Portugal): a combined AMS and gravity study. *Trans. R. Soc. Eding. Earth Sci.* 91: 123-137.
- SANT'OVAIA, H.; MARTINS, H.C.B. & NORONHA, F. (2003a). Estudo petro-estrutural do maciço pós-tectónico de Águas Frias (Chaves). Resultados preliminares. Ciências da Terra, volume especial V, 57. VI Congresso Nacional de Geologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa.
- SANT'OVAIA, H.; OLIVIER, P. & NORONHA, F. (2003b). "Fabric" magnético do complexo granítico hercínico de Castro Daire. Ciências da Terra, volume especial V, 58. VI Congresso Nacional de Geologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa.
- SCHERMERHORN, L. (1980). Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 14-C – Castro Daire. 39 p. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SILVA, M.M.V.G. (1995). *Mineralogia, petrologia, e geoquímica de enclaves de rochas graníticas de algumas regiões Portuguesas*. 288pp. Universidade de Coimbra. Tese de Doutoramento.
- SILVA, M.M.V. & NEIVA, A.M. (1998). Geoquímica de enclaves microgranulares e granitos hospedeiros da região de Vila Nova de Gaia, norte de Portugal, Actas do V Congresso Nacional de Geologia. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, Lisboa, 84 (1): B-35-B-38.
- TARLING D.H. & HROUDA, F. (1993). *The magnetic anisotropy of rocks*. 217pp. Chapman & Hall, London. Magnetite-series and Ilmenite-series.
- TEIXEIRA, C.; ASSUNÇÃO, C.T. & COELHO, A.V. P. (1974). Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 6-B - Chaves. 35 p. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- TEIXEIRA, C.; SANTOS, P.J.; TEIXEIRA LOPES, J.V; PILAR, L. & CORREIA PEREIRA, V. (1972). Carta Geológica de Portugal, 1:50000. Folha 14-D – Aguiar da Beira. Serviço Fomento Mineiro. Lisboa.