

# **Instalação de granitos pós-tectónicos controlada por falha Varisca profunda no Norte de Portugal**

## **Post-tectonic granite intrusion controlled by a deep Variscan fault in Northern Portugal**

MARTINS, H.C.B<sup>1</sup>., SANT'OVAIA, H<sup>2</sup>. & NORONHA, F<sup>3</sup>.

### **Abstract**

Multidisciplinary studies integrating petrography, geochemistry, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) studies and gravimetry were carried out on Vila Pouca de Aguiar (VPA) and Águas Frias-Chaves (AF) porphyritic biotite granite plutons which distance *ca* 20 km one from the other in independent outcrops. These mineralogical and geochemistry features led us to propose a model of mantle input followed by mantle crust interactions for the origin of these granites, although implying a major crustal contribution for AF pluton. The integration of different data suggests that both plutons have the same feeding zone aligned within PRVF and that both have the same structure which is related to late Variscan phases. The thicker shape for AF pluton than for VPA pluton is compatible with different deeps of PRVF sectors.

**Keywords:** Variscan granites, post-orogenic, crystallochemistry, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS), geometry, feeding zone, Variscan fault

- (1) Departamento de Geologia/Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 PORTO, Portugal; [hbrites@fc.up.pt](mailto:hbrites@fc.up.pt)
- (2) Departamento de Geologia/Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 PORTO, Portugal; [hsantov@fc.up.pt](mailto:hsantov@fc.up.pt)
- (3) Departamento de Geologia/Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 PORTO, Portugal; [fmnoronh@fc.up.pt](mailto:fmnoronh@fc.up.pt)

## INTRODUÇÃO

A falha Penacova-Régua-Verin (FPRV), é uma falha tardi-varisca com orientação NNE-SSW que se estende, pelo menos, desde Verin, em Espanha, até Penacova no centro de Portugal (BAPTISTA 1998). É uma falha ainda activa e tem a particularidade de, no seu ramo mais a NE, ser acompanhada por diferentes nascentes de águas termais gasocarbónicas, nomeadamente em Pedras Salgadas, Vidago, Chaves e Verin. Espacialmente associados à FPRV ocorrem dois plutões graníticos distanciados cerca de 20 km: o plutónio de Águas Frias-Chaves (AF) e o plutónio de Vila Pouca de Aguiar (VPA). Estes granitos são pós-tectónicos e pertencem ao grupo dos “Granitoides biotíticos com plagioclase cálcica” (FERREIRA *et al.* 1987). O granito de VPA possui uma idade  $290 \pm 3$  Ma determinada pelo método U/Pb em zircões (MARTINS 1998).

No intuito de estabelecer uma comparação do ponto de vista estrutural e genético entre os plutões de Águas Frias e o de Vila Pouca de Aguiar e verificar qual a sua relação com a FPRV realizaram-se estudos multidisciplinares integrando petrografia, geoquímica, mineralogia, anisotropia da susceptibilidade magnética (ASM) e gravimetria.

O estudo da “Anisotropia da Susceptibilidade Magnética” (ASM) permitiu uma análise sistemática dos maciços graníticos, proporcionando dados direccionais (foliação e lineação magnética) que podem ser comparados com os da foliação e lineação magmáticas, uma vez que estes granitos não estão deformados, podendo o *fabric* magnético ser comparado com o *fabric* magmático. Na ausência de minerais ferromagnéticos, como é o caso dos granitos estudados, é a biotite o mineral paramagnético mais importante para a definição do “*fabric*” magnético.

Com o objectivo de comparar e inferir as relações genéticas dos granitos foi estudada a geoquímica da biotite que é o filossilicato primário mais representativo. Este estudo foi precedido por uma caracterização dos domi-

nios composicionais ao nível de geoquímica de rocha total.

Para complementação dos estudos anteriores foi feito, recorrendo à gravimetria, o estudo da geometria tridimensional dos dois corpos graníticos.

Embora os estudos de ASM e de gravimetria incidam na totalidade dos plutões, os estudos de geoquímica e mineralogia focalizaram-se somente nas fácies mais representativas de cada plutão.

## ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A orogenia varisca constitui o maior evento na evolução tectónica da Europa ocidental, sendo caracterizada por mecanismos de subducção e obducção da crosta oceânica, culminando o processo por colisão intercontinental (DIAS & RIBEIRO 1994). Estudos detalhados realizados em diferentes sectores da cadeia varisca, permitem admitir a existência de três fases de deformação dúctil, D1, D2 e D3, e ainda várias fases frágeis pós-D3. Datações radiométricas sugerem uma actividade magmática intensa durante a orogenia varisca e com base na classificação de FERREIRA *et al.* (1987) e (DIAS *et al.* 1998) estão divididos genericamente em granitos sin-D3 (319-313 Ma), tardi-D3 (311-306 Ma) e pós-D3 (296-275 Ma).

Os plutões graníticos estudados, Águas Frias e Vila Pouca de Aguiar, pertencem ao grupo dos granitos pós-D3 e localizam-se ambos na Zona de Galiza Trás-os-Montes (ZGMTM) (FARIAS *et al.* 1987; ARENAS *et al.* 1988) (Fig. 1).

O plutónio de Águas Frias é um pequeno maciço de forma mais ou menos irregular que ocupa uma área de aproximadamente 30 km<sup>2</sup>. Este plutão é constituído por um granito porfiróide essencialmente biotítico com megacristais de feldspato potássico e ocasionalmente plagioclase, não deformado, intruído no seio de granitos de duas micas sin-D3 e rochas metassedimentares com idades atribuídas desde o Ordovícico superior ao Devónico

inferior (RIBEIRO *et al.* 2004). Este granito é designado na Notícia Explicativa da folha 6B-Chaves (1974) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 por “Granito de Águas Frias e Santo Estevão” e é classificado como um “granito monzonítico calco-alcálico” (TEIXEIRA *et al.* 1974). Na folha 2, à escala 1/200000 (Carta Geológica de Portugal, 1:200000, Folha 2, 2000) o granito é considerado como um granito pós-tectónico, porfiróide de grão grosseiro a médio essencialmente

biotítico (será referido neste trabalho como GAF) e no interior do maciço está assinalada uma mancha de granito de duas micas de grão médio considerado como um granito sintectónico. O estudo petrográfico revela como minerais principais, quartzo, feldspato potássico (ortoclase e microclina), plagioclase zonada e biotite. Como minerais acessórios são frequentes a apatite, zircão, alanite, esfena, alguma moscovite e rara cordierite (SANT’OVAIA *et al.* 2003).

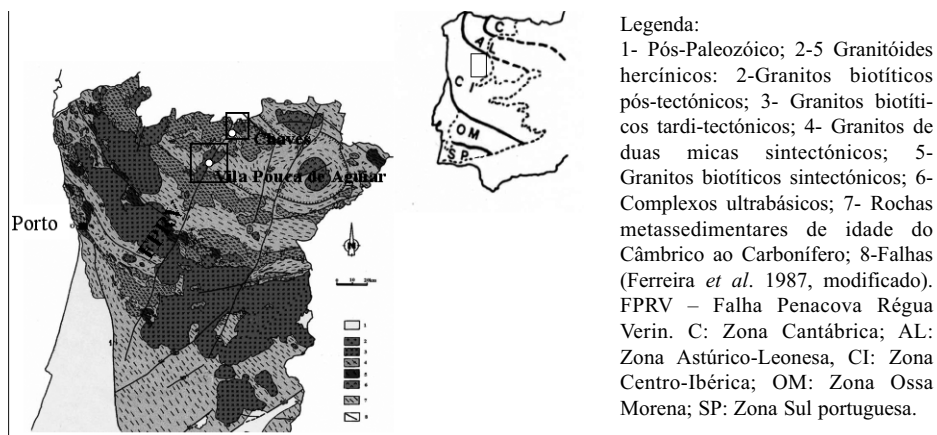


Figura 1: Localização dos plutões graníticos

O plutão de VPA (ca 200 km<sup>2</sup>) é constituído, no essencial, por duas unidades graníticas biotíticas que definem um zonamento concêntrico e cujas relações de campo sugerem sincronismo de instalação (MARTINS 1998): (i) o granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA), porfiróide e de grão médio, caracterizado pela presença de encraves microgranulares tonalíticos e granodioríticos; (ii) o granito de Pedras Salgadas (GPS) mais leucocrata, de grão médio a fino, também porfiróide e que ocupa a parte central do maciço. Grande parte do plutão de VPA, está representada na folha 6-D – Vila

Pouca de Aguiar (1998) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000 (NORONHA *et al.* 1998). As associações mineralógicas das duas fácies são semelhantes. Como minerais principais ocorrem ortoclase, microclina, quartzo, plagioclase e biotite e como minerais acessórios, ilmenite, zircão, apatite e alanite. No GPS a biotite é menos abundante, apresentando raramente alguma moscovite que consideramos primária. O carácter porfiróide é evidenciado pela presença de megacristais de feldspato potássico e ocasionalmente plagioclase (MARTINS 1998).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Geoquímica/mineralogia

Visando a caracterização geoquímica de rocha total do GAF procedeu-se a uma amostragem, colhendo-se um total de 6 amostras, as quais foram analisadas por ICP-MS no ACTLAB, Canadá. As amostras do GVPA, utilizadas para termo comparativo foram analisadas no “Centre de Recherches Péetrographiques et Geochimiques” (C.N.R.S.- Nancy, França) por ICP-MS e ICP-AES (MARTINS 1998).

Tendo em vista a caracterização mineralógica e geoquímica das biotites, seleccionaram-se algumas amostras representativas para análise pontual à microsonda electrónica, tendo sido analisados um total de 52 pontos no GAF e 39 pontos no GVPA. As análises foram obtidas no Laboratório do Instituto Geológico e Mineiro, actual INETI, no Porto, numa microsonda Camebax com as seguintes condições de trabalho: corrente de 15 Kv e 20nA; tempo de contagem de 20 segundos e utilização de um programa de correcção ZAF.

Para estudo subsequente seleccionaram-se apenas as composições das biotites cujas análises apresentavam percentagens de K<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub> superiores a 8% e 2%, respectivamente.

### Anisotropia da Susceptibilidade Magnética

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 892 cilindros para o plutão de Vila Pouca de Aguiar e 125 para o

plutão de Águas Frias. De referir que no caso de Águas Frias, a amostragem ainda vai prosseguir. As medições de ASM foram realizadas numa balança de susceptibilidade magnética Kappabridge (AGICO) KLY-3 (no “Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie” da Universidade Paul Sabatier de Toulouse) e na balança Kappabridge (AGICO) KLY-4S no Centro de Geologia/Departamento de Geologia da FCUP. No tratamento automático dos ficheiros de dados utilizou-se o programa “Exams” (SAINT BLANQUANT, 1994), que calcula para cada estação: susceptibilidade média, intensidades e orientações dos eixos K<sub>max</sub>, K<sub>int</sub> e K<sub>min</sub>, anisotropia paramagnética média ( $P_{para\%} = 100 \times (k_{max} + 1,4) / (k_{min} + 1,4) - 1$ ), lineação magnética (paralela à direcção de K<sub>max</sub>) e foliação magnética (azimute e inclinação do plano perpendicular a K<sub>min</sub>).

### Gravimetria

Os estudos de gravimetria em corpos graníticos baseiam-se na determinação da anomalia de Bouguer. Esta anomalia é obtida corrigindo o valor da aceleração da gravidade observada, pelos efeitos da altitude, latitude, topografia, etc.

O tratamento e interpretação das medidas gravimétricas trazidas do campo incluem para além das correcções gravimétricas, a separação da tendência regional e a obtenção da anomalia residual e a modelização (inversão). A inversão de dados gravimétricos, permite determinar a forma tridimensional dos plutões. O mapeamento gravimétrico do plutão de VPA foi feito com base em 2027 medidas correspondendo a uma área de 825 km<sup>2</sup>, compreendida entre os meridianos 605 e 630 km e os paralelos 4586 e 4619 km (coordenadas referentes à quadricula quilométrica U.T.M. - Datum Europeu). No caso do Plutão de AF, as medidas gravimétricas foram realizadas em 3649 estações homogeneamente distribuídas numa área de 379 km<sup>2</sup>, situada entre os meridianos 620 e 641 km e os para-

lelos 4615 e 4632 km. As medidas gravimétricas foram obtidas com um gravímetro *Lacoste & Romberg, modelo G*, cuja precisão é de  $\pm 0,01$  mGal (MOREIRA et al. 1992).

## RESULTADOS

### Geoquímica/Mineralogia

Apresenta-se na Tabela 1 os teores em elementos maiores, menores e vestigiais, incluindo elementos de terras raras, referentes a amostras do GVPA e do GAF, que são os granitos que no campo revelam aspectos mineralógicos e texturais mais similares.

Os granitos são monzoníticos de carácter potássico ( $K_2O/Na_2O$ : 1,1 a 1,4), fraca a

moderadamente peraluminosos com os valores de A/CNK a variar entre 1,02 e 1,07.

Na Figura 2 está expressa a variação composicional, dos granitos estudados, em função do parâmetro  $B=Fe+Mg+Ti$  (expresso em milicatiões por 100g de rocha). A interpretação dos dados geoquímicos de rocha total revela que o GAF tem uma gama composicional muito semelhante ao GVPA, evidenciando um ligeiro enriquecimento dos teores em  $SiO_2$  a par de uma diminuição de  $Fe_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$  e Zr e idênticos valores de Ba, Sr, Rb e da razão  $La/Yb_N$ . As tendências de evolução observadas nos dois granitos bem como a disposição das amostras ao longo da mesma linha evolutiva sugerem que o GAF e o GVPA tiveram géneses idênticas.

	GVPA			GAF		
	74-3*	46-2*	74-15*	34-4	CV-1	CV-13
SiO <sub>2</sub>	70.72	71.77	72.24	72.77	73.11	73.85
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.34	0.31	0.34	0.28	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.51	13.56	13.35	13.82	13.61	13.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	3.08	2.72	2.22	2.48	2.26	2.16
MnO	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
MgO	0.79	0.64	0.51	0.7	0.62	0.6
CaO	1.99	1.67	1.54	1.51	1.65	1.56
Na <sub>2</sub> O	3.68	3.47	3.54	3.49	3.53	3.39
K <sub>2</sub> O	4.41	4.3	4.47	4.08	4.05	3.96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.11	0.14	0.15	0.13	0.13
L.I.	0.62	1.18	0.61	0.8	0.64	0.76
Total	100.37	99.8	98.98	100.19	99.94	100.07
Ba	330	267	362	288	267	257
Rb	233	263	251	228	237	116
Sr	69	86	113	86	81	82
Zr	169	157	153	138	116	124
La	28.77	26.08	27.32	33.10	24.16	25.6
Ce	66.48	57.05	66.23	67.78	50.60	54.40
Nd	27.47	27.68	25.12	28.64	22.55	23.40
Sm	6.45	6.65	6.05	6.28	5.21	5.90
Eu	1.04	0.77	0.94	0.64	0.56	0.55
Gd	6.11	6.32	5.64	6.01	5.17	5.20
Dy	5.91	7.22	5.68	5.96	5.23	5.20
Er	3.28	4.53	3.26	3.41	3.02	3.30
Yb	3.35	5.41	3.59	3.50	3.19	3.10
Lu	0.63	0.76	0.67	0.52	0.47	0.44
(La/Yb) <sub>N</sub>	5.8	3.25	5.14	6.39	5.12	5.57

\*(MARTINS et al. em prep)

Tabela 1: Análises químicas de elementos maiores (%), menores (%) e vestigiais (ppm) de amostras seleccionadas do granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA) e granito de Águas Frias (GAF). LI= perda ao rubro.

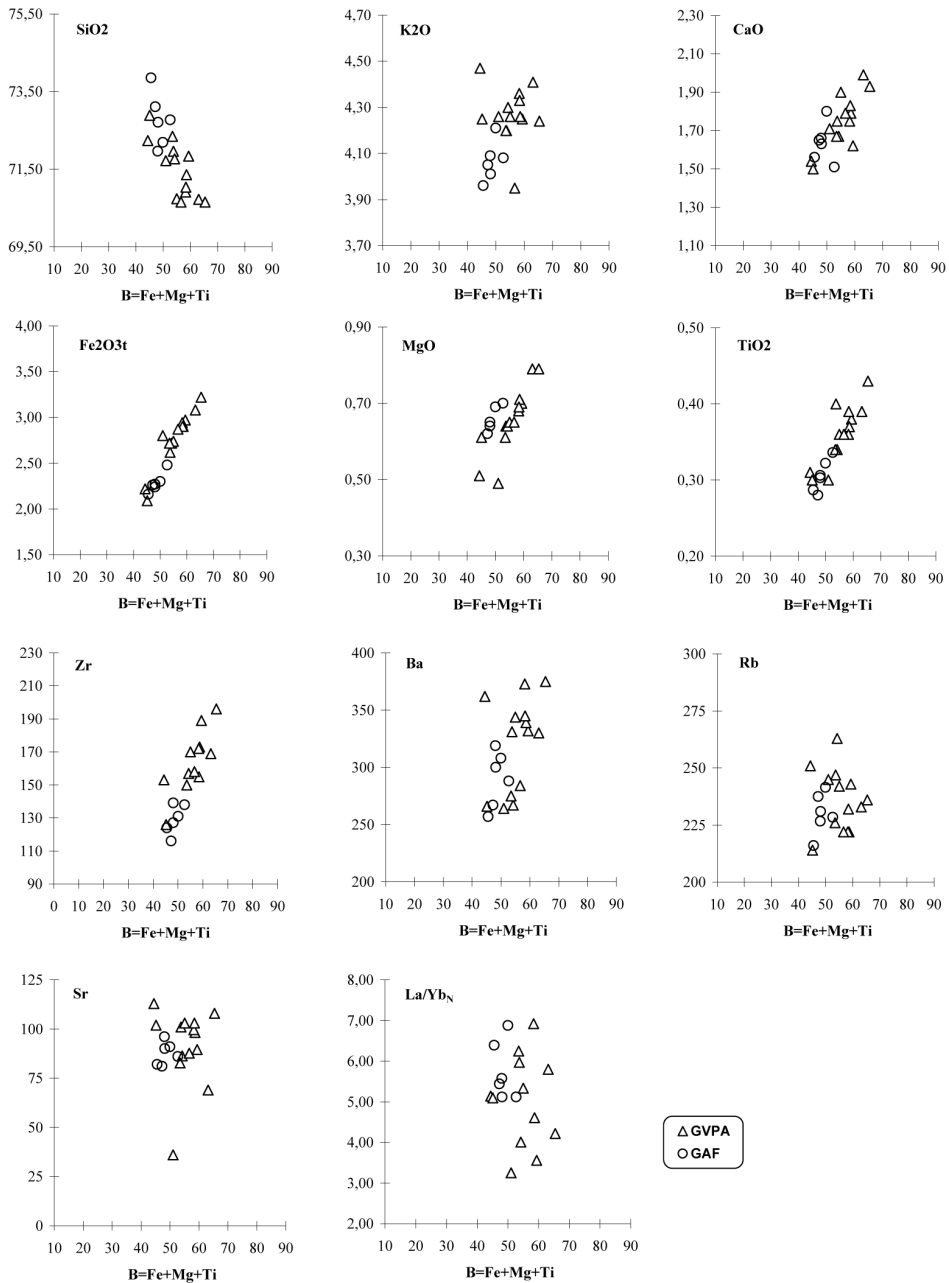


Figura 2: Diagramas de variação dos elementos maiores (%), menores (%) e vestigiais (ppm) função do parâmetro B (B=Fe+Mg+Ti, expresso em milicátions por 100g de rocha) do granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA) e granito de Águas Frias (GAF).

Dadas as evoluções encontradas ao nível de rocha total efectuou-se um estudo geoquímico comparativo da biotite do GAF e do GVPA.

Os resultados das análises químicas médias para cada amostra, assim como as respectivas fórmulas estruturais, calculadas na base de 22 oxigénios estão representados na Tabela 2.

	GAF						GVPA							
	CV6 n=3	CV8 n=8	CV1 n=5	34-4 n=8	CV11 n=16	CV13 n=19	74-3* n=7	74-5* n=7	74-12* n=6	74-16* n=5	74-9* n=3	74-15* n=6	74-6* n=5	
SiO <sub>2</sub>	35,29	35,20	36,37	35,22	37,10	36,53	35,91	36,20	35,81	35,60	35,24	35,52	35,73	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,03	18,61	18,34	18,38	19,16	18,52	13,85	13,96	14,86	13,73	14,80	14,88	13,70	
TiO <sub>2</sub>	3,27	3,55	3,37	3,51	3,30	3,24	4,41	3,94	3,98	4,24	4,04	3,91	4,07	
FeO(t)	20,23	20,78	20,37	20,69	20,37	20,93	24,54	24,69	24,39	24,11	24,60	24,54	24,91	
MnO	0,44	0,38	0,55	0,50	0,42	0,46	0,45	0,52	0,47	0,48	0,61	0,54	0,50	
MgO	6,52	7,23	7,49	7,33	6,50	6,83	7,52	7,37	7,02	7,38	6,44	6,68	7,23	
CaO	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,13	0,08	0,17	0,13	0,10	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10	0,05	0,07	
K <sub>2</sub> O	9,55	9,48	9,23	9,37	9,56	10,04	9,13	9,23	8,90	9,11	9,58	9,20	9,58	
TOTAL	94,48	95,37	95,81	95,18	96,56	96,68	95,90	96,02	95,52	94,73	95,45	95,33	95,80	

Fórmula estrutural com base em 22 oxigénios

Si	5,45	5,40	5,52	5,42	5,58	5,53	5,60	5,65	5,59	5,62	5,55	5,58	5,61
Al <sup>IV</sup>	2,55	2,60	2,48	2,58	2,42	2,47	2,40	2,35	2,41	2,38	2,45	2,42	2,39
Al <sup>VI</sup>	0,92	0,77	0,81	0,75	0,97	0,84	0,15	0,21	0,33	0,18	0,30	0,33	0,15
Fe <sup>2+</sup>	2,61	2,67	2,59	2,66	2,56	2,65	3,20	3,22	3,19	3,19	3,24	3,22	3,27
Mg	1,50	1,65	1,70	1,68	1,46	1,54	1,75	1,71	1,63	1,74	1,51	1,56	1,69
Mn	0,06	0,05	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07
Ti	0,38	0,41	0,39	0,41	0,37	0,37	0,52	0,46	0,47	0,50	0,48	0,46	0,48
Y	5,47	5,55	5,54	5,56	5,41	5,46	5,68	5,68	5,67	5,67	5,61	5,65	5,67
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,03	0,04	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
K	1,88	1,86	1,79	1,84	1,83	1,94	1,82	1,84	1,77	1,82	1,93	1,84	1,92
X	1,92	1,90	1,81	1,89	1,88	1,97	7,53	7,54	7,47	7,52	7,57	7,51	7,61
XFe	0,63	0,62	0,60	0,61	0,64	0,63	0,65	0,65	0,66	0,65	0,68	0,67	0,66
Al t	3,47	3,37	3,28	3,33	3,39	3,31	2,55	2,57	2,74	2,56	2,75	2,75	2,54

\*(MARTINS & NORONHA 2000)

Tabela 2: Composição média das biotites do granito de Vila Pouca de Aguiar (GVPA) e granito de Águas Frias (GAF). n= número de análises por amostra; XFe= Fe/Fe+Mg.

A análise do diagrama de DEER *et al.* (1992) revela que as biotites dos granitos em estudo se situam no domínio das biotites naturais aluminosas e ricas em Fe (Fig.3). A gama de variação de XMg e Al<sup>IV</sup> (XMg <0,5 e 2,3 < Al<sup>IV</sup> <2.7) nos dois granitos indica

uma composição muito idêntica, apresentando as biotites do GAF um ligeiro enriquecimento em Al<sup>IV</sup>. No que diz respeito aos termos extremos as biotites caracterizam-se por uma maior contribuição dos termos anite-flogopite.

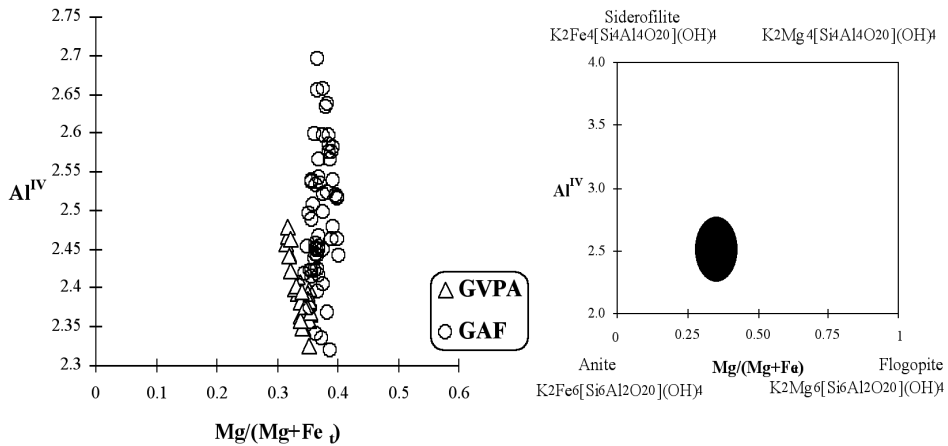


Figura 3: Composição das biotites dos granitos em estudo, no diagrama das micas trioctaédricas (DEER *et al.* 1992).

Embora as biotites dos dois granitos apresentem uma composição muito próxima, verificam-se algumas diferenças composicionais postas em evidência na Tabela 2 e Fig. 4. Efectivamente as biotites do GAF são enriquecidas em  $Al^{VI}$  ( $0,69 < Al^{VI} < 1$ ) e  $Al_t$  (3,28-3,47) comparativamente com as do GVPA ( $0,15 < Al^{VI} < 0,40$ ;  $Al_t$ : 2,54-2,55). Por outro lado as primeiras revelam um empobrecimento nos conteúdos em Fe, e Ti apresentando em média um valor inferior da razão  $Fe/(Fe+Mg)$  e do grau de ocupação octaédrica (Y). Quanto a este último as biotites do GAF caracterizam-se por um valor médio de 5,6 o que corresponde ao valor mínimo indicado por DEER *et al.* (1992) para as biotites comuns, indicando deste modo um desvio estrutural no sentido dioctaédrico ao contrário do que acontece com as biotites do GVPA (MARTINS & NORONHA 2000).

Do ponto de vista tipológico (NACHIT *et al.* 1985) as biotites do GAF evidenciam características das biotites da série dos granitos aluminopotássicos, enquanto que as biotites do GVPA revelam afinidades do tipo subalcalino. A projecção das biotites do GAF no

domínio biotite  $\pm$  cordierite está de acordo com as observações petrográficas (Fig.5).

### ASM e *fabric* magnético

A susceptibilidade magnética apresenta um valor médio de  $101,0 \times 10^{-6}$  SI (SANT'OVAIA *et al.* 2000) para o plutão de VPA. No plutonito de AF, a susceptibilidades magnética apresenta um valor médio de  $80,7 \times 10^{-6}$  SI (SANT'OVAIA *et al.* 2003).

Os valores de anisotropia paramagnética são sempre inferiores a 2%. No plutão de VPA temos um valor médio de 1,4%, enquanto que para o plutonito de AF a média é de 1,6%.

No plutão de VPA as foliações magnéticas apresentam-se fracamente inclinadas para o exterior do plutão (a inclinação média é de  $34^\circ$ ), paralelas aos contornos e com direcção média em torno de NNE-SSW. As lineações magnéticas são na sua maioria sub-horizontais e paralelas às foliações magnéticas. No entanto no centro do plutão é possível distinguir uma família de foliações e lineações magnéticas com direcção em torno de WNW-ESE e sub-horizontais (SANT'OVAIA *et al.* 2000).



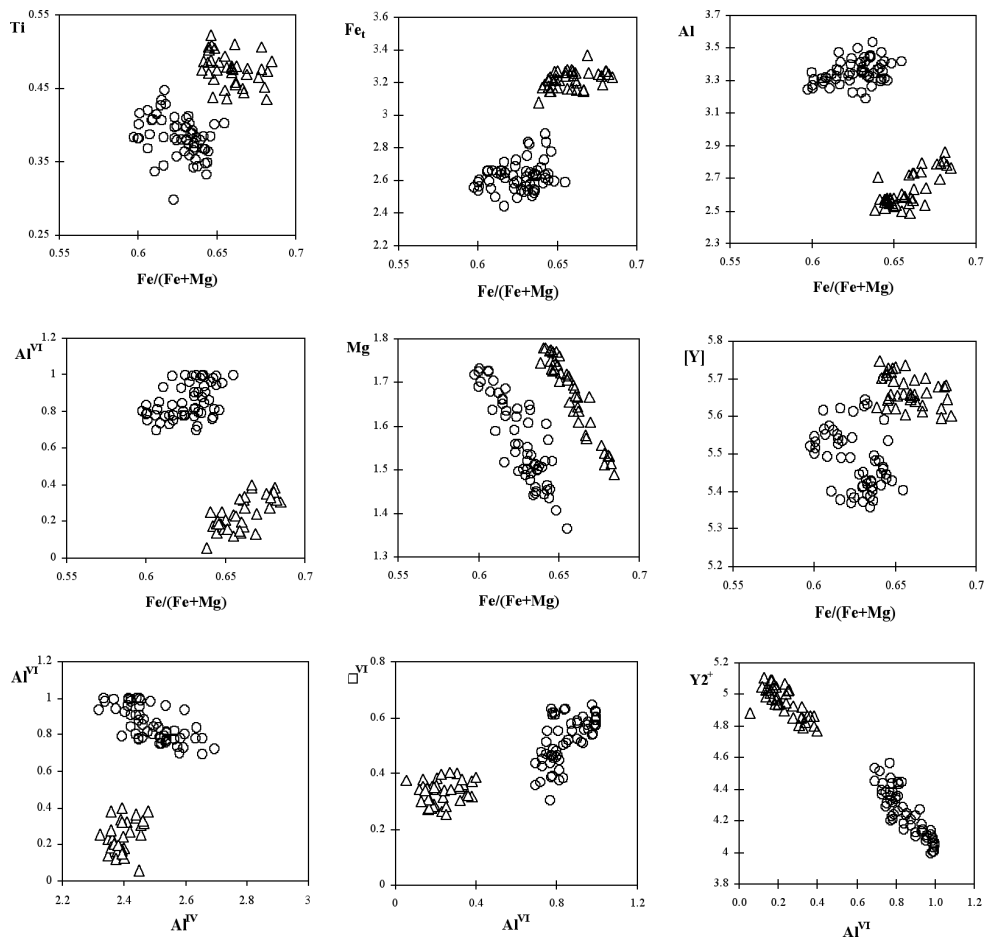


Figura 4: Representação da composição das biotites de GVPA e GAF função de XFe,  $Al^{IV}$  e  $Al^{VI}$ .  $[Y]$  = total de cátions em posição octaédrica;  $Y = n^\circ$  de lacunas octaédricas. Simbologia como na Fig.3.

No plutonito de AF as foliações magnéticas tendem a ser paralelas ao contorno do plutão mas apresentando uma direcção média de E-W e inclinando cerca de  $30^\circ$  para o exterior do plutão. As lineações magnéticas são na sua maioria sub-horizontais e com direcção média em torno de WNW-ESE.

### Gravimetria

A modelação da anomalia residual gravimétrica de cada um dos plutões mostrou que as respectivas geometrias apresentadas são bastante diferentes (SANT’OVAIA *et al.* 2000; SANT’OVAIA & NORONHA 2005) (Fig. 6).

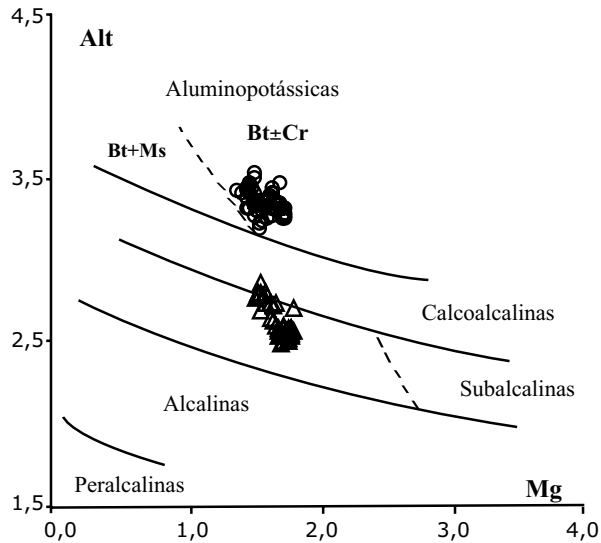


Figura 5: Composição das biotites dos granitos em estudo no diagrama tipológico das séries magmáticas segundo NACHIT *et al.*

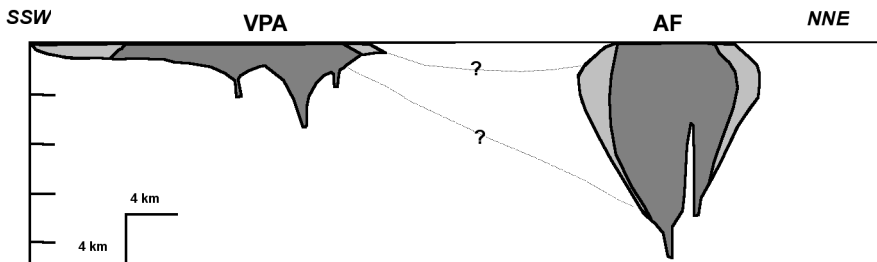


Figura 6: Perfis interpretativos dos dois plutões obtidos com base na inversão de dados gravimétricos e dados de ASM.

A geometria global do plutão de VPA, com a sua extremidade sul laminar, espessura inferior a 1 km em 2/3 da sua área, e a parte central mais espessa, com uma profundidade média de 2 a 3 km e com uma estrutura de domo, sugere a forma de um lacólito. Foi possível distinguir três zonas de alimentação cuja profundidade não ultrapassa os 6 km. Estas

zonas de alimentação encontram-se alinhadas ao longo do sistema Penacova-Réguas-Verin desenhando um alinhamento em Y.

A modelação dos dados gravimétricos do plutão de AF mostra uma forma geométrica próxima dos “wedge-shaped plutons” e um profundo enraizamento que atinge cerca de 10 km segundo um alinhamento subparalelo à

falha de Penacova-Régua-Verin. A maior depressão localiza-se no centro do plutonito sugerindo a existência de uma conduta profunda de alimentação do magma granítico.

## DISCUSSÃO

A composição química das biotites é classicamente utilizada para estimar as condições de gênese das rochas magmáticas bem como na classificação tipológica de granitóides. Isto implica que as biotites utilizadas sejam primárias, reflectindo portanto as condições magmáticas. Ora, constata-se que num mesmo maciço, para uma fácies determinada e para biotites consideradas primárias, segundo critérios petro-estruturais, a composição destes minerais pode variar consideravelmente. Estas variações podem ser devidas quer a evoluções primárias ligadas à diferenciação magmática quer a processos tardi a pós-magmáticos, condicionando, neste caso, a utilização do quimismo da biotite na dedução das condições primárias de cristalização.

NACHIT (1994) propôs um meio de discriminar eficazmente as biotites primárias, magmáticas, das que experimentaram reequilíbrios químicos mais ou menos complexos com um fluido tardimagmático, ou mesmo das biotites neofornadas por equilíbrio com fluidos ainda mais tardios. De acordo com aquele autor as biotites reequilibradas e neofornadas têm sempre conteúdos de  $Al^{VI}$  elevado ( $1 < Al^{VI} < 1,25$ ), enquanto as biotites primárias apresentam conteúdos elevados em Ti e conteúdos fracos em  $Al^{VI}$  (os conteúdos máximos em  $Al^{VI}$  nos granitos alumino-potássicos não ultrapassa o valor 1). Deste modo, a composição química destes minerais e a sua evolução composicional podem constituir indicadores bastante fiáveis na caracterização geoquímica dos maciços estudados e na sua evolução magmática.

A variabilidade composicional observada nas biotites dos dois granitos põe em evidência a existência de evoluções internas das amostras menos evoluídas para as mais evolu-

ídas. Esta evolução é marcada em ambos os granitos por um aumento de XFe, a par da diminuição em Mg, Ti e total de cátions em posição octaédrica e enriquecimento em  $Al_I$  e  $Al^{VI}$ , não se verificando variação significativa em Fe.

Estes dados, ao contrário do que se verifica na geoquímica de rocha total, revelam que não existe uma continuidade composicional entre as biotites dos granitos de AF e de VPA.

As tendências evolutivas observadas na Fig. 4 permitem avaliar os mecanismos de substituição responsáveis pelas variações na composição química das biotites estudadas.

A evolução composicional registada no GAF, nomeadamente diminuição de  $[Y^{2+}]$  e aumento das lacunas octaédricas em função do aumento dos teores em  $Al^{VI}$ , pode ser justificada pelo mecanismo de substituição ( $3[Y^{2+}]; 2Al^{VI} + ?^{VI}$ ) que, a partir do pólo anite-flogopite, conduz à moscovite. Este tipo de substituição é muito menos eficaz nas biotites do GVPA, nas quais a introdução de Al na camada octaédrica é controlada principalmente por mecanismos substitucionais do tipo Tschermak em que a substituição de  $[Y^{2+}]$  por Al nas posições octaédricas é compensada pela substituição do Si por Al nas posições tetraédricas.

A susceptibilidade magnética reflecte o comportamento magnético do granito o que está dependente do conteúdo em ferro e da fugacidade de oxigénio do magma que o originou. Ambos os plutões apresentam um zonamento normal, isto é, um aumento da susceptibilidade magnética do centro para a periferia, o qual está directamente correlacionado com o conteúdo em ferro da rocha, e que claramente sublinha o zonamento petrográfico. Os valores médios de susceptibilidade magnética para os dois plutões são semelhantes e correspondem ao intervalo de valores esperado para monzogranitos (GLEIZES 1992), que são efectivamente as fácies mais representativas dos dois plutões.

Os granitos estudados apresentam sempre valores de anisotropia magnética inferiores a

2%, relacionados com um “fabric” exclusivamente magmático, o que confirma o seu carácter pós-tectónico. É importante salientar que a fácies central no plutão de Águas Frias embora classificada como sintectónica na folha 6B-Chaves (TEIXEIRA *et al.* 1974), é neste trabalho, com base nas observações de campo, estudo petrográfico e ASM, por nós considerado como um granito pós-tectónico.

Na análise da anomalia gravimétrica residual, observou-se a continuação da anomalia do plutão de AF para sul segundo um alinhamento NNE-SSW. No tratamento da anomalia residual do plutão de VPA o mesmo problema surgiu, admitindo-se a possibilidade de uma continuidade em profundidade dos dois plutões. Esta continuidade dos dois corpos graníticos seria obtida devido à presença de condutas de alimentação ao longo da falha Régua-Verin.

Podemos então discutir a possibilidade duma mesma composição para os granitos de Águas Frias e para os granitos do plutão de VPA.

A existência de uma continuidade composicional ao nível da geoquímica de rocha total parece sugerir uma origem comum para GAF e GVPA, que, no entanto, não é confirmada pelo estudo efectuado sobre as biotites que permite constatar a existência de algumas diferenças composicionais.

O estudo cristaloquímico efectuado revela que a composição da biotite constitui um bom critério discriminativo, tendo permitido individualizar claramente os dois granitos. Por outro lado permite verificar que a variação composicional das biotites do GAF se deve principalmente a mecanismos de substituição iónica acoplada que implicam a formação de lacunas de ocupação octaédrica. Os mecanismos substitucionais do tipo Tschermak são pouco eficazes nas biotites do GAF, sendo os mecanismos mais importantes nas biotites do GVPA. Os valores mais baixos do grau de ocupação octaédrica nas biotites do GAF poderão ser explicados pela importância da substituição dioctaédrica-trioctaédrica verificada nestas biotites.

Do ponto de vista tipológico as biotites do GVPA apresentam afinidades subalcalinas enquanto que as do GAF definem-se como francamente aluminopotássicas, enquadrando-se no domínio dos granitos com biotite e cordierite o que segundo NACHIT *et al.* (1985) e BARBARIN (1999) evidencia uma maior contribuição crustal na génese deste granito. A obtenção de dados isotópicos em curso poderá ou não confirmar a hipótese de modelos genéticos independentes para os dois granitos.

Tendo em conta a variabilidade composicional das micas sugere-se uma individualidade geoquímica das biotites de cada granito, não sendo compatível com a existência de uma evolução magmática contínua entre os dois granitos que constituem cada um dos plutões.

Embora os estudos multidisciplinares efectuados não apontem para uma semelhança genética entre os dois plutões, pode-se considerar a existência de uma similitude na estruturação e instalação dos mesmos. A estruturação magmática dos dois plutões é semelhante como indica o “fabric” magnético em torno de direcções NNE-SSW e WNW-ESSE indicando direcções de estiramento magmático compatível com as direcções tardi-variscas. A inversão dos dados gravimétricos indica a presença de zonas de alimentação alinhadas segundo a FPRV. Esta zona de alimentação comum, não implica no entanto, geometrias iguais para os dois plutões, o que mostra que embora alimentados por condutas localizadas ao longo do mesmo acidente, terão aproveitado sectores da falha com características de profundidade/geometria diferentes, o que terá condicionada a maior espessura do plutonito de AF. Aliás é no sector NE da FPRV que se localizam as nascentes termiais com temperaturas à superfície da ordem de 78°C o que é indicativo de maior profundidade local da falha.

Assim embora o papel da FPRV como anisotropia crustal fundamental à instalação e estruturação dos magmas dos dois plutões seja inquestionável, os dados geoquímicos dispo-

níveis permitem sugerir que estes constituem corpos distintos em termos genéticos.

## CONCLUSÕES

Os granitos estudados são monzogranitos moderadamente peraluminosos,  $1.02 < A/CNK < 1.07$ , e têm características geoquímicas similares (elementos maiores, menores e traços). Porém, as composições da biotite são diferentes, nomeadamente nos teores de Al octaédrico e de XMg que são mais elevados no GAF. As características tipológicas da biotite do GVPA indicam uma afinidade subcalina quando as biotites do GAF sugerem uma assinatura aluminopotássica, que está de acordo com a presença de cordierite. A integração dos dados geoquímicos e mineralógicos com os dados de ASM e gravimetria sugerem-nos que os dois plutões, embora geneticamente diferentes, apresentam raízes espacialmente asso-

ciadas à FPRV e uma estruturação semelhante compatível com as fases tardi-variscas. A diferente forma geométrica de cada plutão relaciona-se com a profundidade que a FPRV apresenta no local de instalação de cada um dos corpos graníticos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Geológico e Mineiro, actual INETI, todas as facilidades concedidas para obtenção das análises à microsonda electrónica. Agradecemos igualmente os dados de gravimetria cedidos pelo Professor Mendes Victor (Centro de Geofísica da UL).

Este trabalho integra-se nas actividades do Centro de Geologia da Universidade do Porto, “PROJECTO REMIGAIA”, subsidiado pelo Programa de Financiamento Plurianual de I&D (FCT).

*Recibido: 10 / 01 / 2007*

*Aceptado: 04 / 06 / 2007*

## REFERÊNCIAS

- ARENAS, R., FARIAS, P., GALLASTEGUI, G., GIL IBARGUCHI, J.I., LODEIRO, F.G., KLEIN, E., MARQUINEZ, J., PARRA, L.M.M., CATALÁN, J.R.M., ORTEGA, E., MACIA, J.G.P., PEINADO, M. & FERNANDEZ, L.R.R., (1988). Características geológicas y significado de los dominios que componem la Zona de Galicia-Tras-os-Montes. In: Simposio sobre Cinturones Orogénicos, II Congreso de Geología de España, Granada, p 75-84.
- BARBARIN, B. (1999). A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos* 46: 605-626.
- BAPTISTA, J.C. (1998). Estudo neotectónico da zona de falha Régua-Verin. 344 pp. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. (Tese de Doutoramento).
- CARTA GEOLÓGICA de PORTUGAL. Escala 1:200 000, Folha 2. (2000). E. Pereira (Coord.). Instituto Geológico Mineiro. Lisboa.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1992). An introduction to the Rock Forming Minerals. Longman Scientific & technical, 2nd Ed., 696p.
- DIAS, R. & RIBEIRO, A. 1994. DIAS, R. & RIBEIRO, A. (1994) The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent? In: R. Dias, Regimes de deformação no autóctone da Zona Centro-Ibérica: a importância para a compreensão da génese de Arco Ibero-Armoricano. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. (Tese de doutoramento).
- DIAS, G., LETERRIER, J. MENDES, A., SIMÕES, P.P. & BERTRAND, J.M. (1998). U-Pb zircon and monazite geochronology of post-collisional hercynian granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal). *Lithos* 45: 349-369.
- FARIAS, P., GALLASTEGUI, G., GONZALEZ LODEIRO, F., MARQUINEZ, J., MARTIN PARRA, L.M., MARTINEZ CATALAN, J.R., PABLO MACIÁ, J.G. DE & RODRIGUEZ FERNANDEZ, L.R., (1987). Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estructura de Galicia Central. In: IX Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, Porto, 1985. *Mem. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto*, 1: 411-431.
- 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).
- GLEIZES, G. (1992). Structures des granites hercyniens des Pyrénées de Mont-Louis-Andorre à la Maladeta, 259 pp. Université Paul Sabatier de Toulouse. (Tese de Doutoramento).
- MARTINS, H.C.B. (1998). Geoquímica e petrogénese de granitos tarditectónicos e pós-tectónicos. Implicações metalogénicas, 288 pp. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. (Tese de Doutoramento).
- MARTINS, H.C.B. & NORONHA, F. (2000). Composição e natureza das biotites dos maciços graníticos tardi-hercínicos de Vieira do Minho e Vila Pouca de Aguiar (N de Portugal). *Comum. Inst. Geol. e Mineiro*, 87:35-52.
- NACHIT, H. (1994). Contribution a la typologie des granitoïdes. Petrogenese et petrologie structurale du batholite panafricain du cercle de Tafroute. (Boutonniere de Kerdous, anti-atlas occidental, Maroc), 465pp. Univ. Ibnou Zohr, Agadir. Thèse Doct. État ès-Sciences
- NACHIT, H., RAZAFIMAHEFA, N., STUSSI, J.M. & CARRON, J. P. (1985). Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sér.II*, 301: 813-818.
- MOREIRA, M.; RIBEIRO, J. & MENDES VICTOR, L. (1992). Cartografia das anomalias gravimétricas e magnéticas em Trás-os-Montes (Chaves-Vila Real). In:

- Física'92, 8ª Conferência Nacional de Física e 2º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, Vila Real, 1992, Livro de Resumos. Sociedade Portuguesa de Física. pp. 433-434.
- 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.
- RIBEIRO, M.A., SANT'OVAIA, H., MARTINS, H.C.B., RAMOS, R. & NORONHA, F., (2004). Tectono-stratigraphic and structural control on the late-Variscan plutonism and metamorphism in an Iberian crustal segment (Northern Portugal): ranging from mega-scale to micro-scale. In: Abstracts (CD-ROM) of the 32º International Geological Congress, Florença, Itália. pp1066.
- SAINT BLANQUANT, M. (1994). EXAMS, an Excell macro for automatic computing of AMS data. Université de Toulouse. (Programa não publicado).
- 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. Edimb. Earth Sci.* 91: 123-137.
- SANT'OVAIA, H., MARTINS, H.C.B. & NORONHA, F. (2003). 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. & NORONHA, F. (2005). Gravimetric anomaly modelling of the post-tectonic granite pluton of Águas Frias – Chaves (Northern Portugal). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*. Coruña. Vol.30, pp.75-86.
- 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.