

Fabrics magnéticos e magmáticos em diques: concordâncias e discrepâncias

M. Moreira^(a,b,1), C. R. Nogueira^(c,2) & P. Terrinha^(c,d,3)

a - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, R. Cons. Emídio Navarro, 1, 1949-014 Lisboa, Portugal

b - Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, Ed. C8, 1749-016 Lisboa, Portugal

c - LATTEX, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Ed. C2, 5º Piso, 1749-016 Lisboa, Portugal

d - Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Ed. C2, 5º Piso, 1749-016 Lisboa, Portugal

1 - mmoreira@deea.isel.pt; 2 - cepern@fc.ul.pt; 3 - pagt@fc.ul.pt

RESUMO

Palavras-chave: ASM; Diques; fabric magnético; fabric magmático; análise de orientação preferencial de formas (OPF).

Em diques basálticos a lineação magnética, eixo k1 do elipsóide de anisotropia da susceptibilidade magnética, é usualmente associado à direcção do escoamento magmático, contemporâneo com os estados finais de arrefecimento do magma. Esta hipótese foi testada em diques do Cortejo Radial de Diques de Mafra através de comparações entre os fabrics magnético e magmático. Através da análise de imagem sobre lâminas delgadas cortadas segundo os planos k1-k2 e k1-k3 foram obtidas as orientações preferenciais dos minerais opacos (óxidos de Fe, Ti) e plagioclases, estas últimas assumidas como indicadoras da direcção média do escoamento magmático. A análise dos resultados mostrou que em 53% dos casos o afastamento angular das plagioclases relativamente à direcção de k1 é inferior a 15° mas em 40 % dos casos o afastamento é superior a 60°.

Este comportamento sugere que a associação directa do eixo k1 ao escoamento magmático poderá, em numerosos casos, ser incorrecta. Assim, propõe-se um método essencialmente geométrico que permite a determinação completa de um vector de escoamento magmático (direcção e sentido) que não se baseia na utilização única da lineação magnética como indicador de escoamento, mas sim na utilização do plano de foliação magnética, plano k1-k2, e o ângulo de imbricação.

ABSTRACT

Keywords: AMS; dykes; magnetic fabric; magmatic fabric.

In basaltic dykes the magnetic lineation, k1 axis of the anisotropy of magnetic susceptibility ellipsoid, is usually interpreted as collinear with the magmatic flow direction, during last stages of solidification. This assumption was tested in dykes from the Radial Dyke Swarm of Mafra Complex. Digital processing of microphotographs from thin sections cut in k1-k2 planes yields the preferred linear orientation of plagioclase, which is assumed to mark magma flow direction. In 53% of cases the angular separation between k1 and plagioclase lineation is less than 15°. Nevertheless in 40% of cases it is greater than 60°, meaning that plagioclase lineation is closer to k2 axis. This supports the hypothesis that the single use of k1 direction to infer the magmatic flow in dykes is risky and a simple geometrical method is proposed.

Introdução

Os estudos de anisotropia da susceptibilidade magnética (ASM) como técnica de determinação da direcção do escoamento magmático em diques exigem duas condições a que têm de obedecer os eixos principais de susceptibilidade magnética: (1) o plano de foliação magnética médio (definido pelo plano que contém a posição média dos eixos k1 e k2 das diferentes amostras) é paralelo ou sub-paralelo ao plano da margem do dique e (2) os eixos k1 das diferentes amostras estão bem concentrados, definindo uma área de confiança pequena. A esta disposição dos eixos principais de susceptibilidade magnética denomina-se “fabric” magnético normal (Rochette *et al.*, 1991).

Quando estas condições são observadas é habitualmente assumido que a direcção média de k1 representa a direcção do alinhamento médio dos eixos maiores das partículas de óxidos de ferro (ferromagnéticas *sensus lato*) e que esse alinhamento é paralelo à direcção do escoamento magmático.

A hipótese do vector de escoamento magmático ser representado unicamente pelo eixo da susceptibilidade magnética máxima, eixo k1, é aqui testada através da comparação entre o fabric magnético e o fabric petrográfico (magmático), num conjunto de amostras extraídas de diques básicos do Cortejo Radial de Diques de Mafra.

Metodologia

O estudo completo de um fabric através da análise de lâminas finas exige, para cada objecto, a utilização de três lâminas orientadas em direcções ortogonais. Para que seja possível uma comparação entre um fabric magnético e um fabric petrográfico, é necessário que o plano do corte seja paralelo a cada uma das 3 direcções definidas pelos eixos principais de susceptibilidade. No entanto, a dimensão (25x22 mm) e a forma (cilíndrica) das amostras utilizadas não permitem a obtenção de três cortes ortogonais, com uma precisão comparável à da orientação do

fabric magnético ($\approx 5^\circ$). Deste modo decidiu-se fazer uma comparação baseada em apenas dois planos ortogonais. A escolha recaiu (1) no plano definido por k1-k2 (plano da foliação magnética) e (2) no plano k1-k3.

O método de análise utilizado foi o proposto por Launeau & Robin (1996), baseado no algoritmo de “intercepts” (Coster & Chermant, 1985). O procedimento automático faz a contagem das intercepções entre a fase a analisar (um dado nível de cinzento numa imagem “greyscale” de 8 bit) e a matriz (outro nível de cinzento). A contagem é realizada através de uma “janela” que percorre a extensão da imagem, segundo um varrimento angular entre 0° e 180° .

O protocolo experimental consistiu na realização de lâminas delgadas cortadas paralelamente aos planos magnéticos k1-k2 e k1-k3 e na obtenção de diversas imagens, com ampliações de 10x e 25x. As fotografias digitalizadas são posteriormente filtradas de forma a evidenciar, por um lado os minerais opacos, representando genericamente os óxidos de Fe e Ti, e por outro lado, os fenocristais, essencialmente plagioclases. No tratamento de imagem dos feldspatos a filtragem tem em vista a eliminação dos pequenos cristais ou micrólitos, com dimensões de poucos pixel, que tendem a provocar ruído na análise harmónica das contagens de “intercepts”.

Considerando todo o processo de extracção, referenciação e corte das secções k1-k2 e k1-k3 estima-se um erro máximo final de 10° na orientação da lâmina relativamente aos eixos magnéticos.

O tratamento dos dados obtidos é completado através de análise harmónica obtendo-se como resultado rosas de direcções das orientações preferenciais das fases escolhidas, e diversos parâmetros numéricos (dimensão da fase analisada, parâmetros de forma, etc.)

Resultados

Os resultados obtidos do estudo em 56 imagens obtidas a partir de 8 lâminas delgadas de 2 diques, confirmam que o fabric magnético é coaxial com o fabric magmático. Mostra-se um exemplo de duas lâminas orientadas, uma segundo o plano k1-k2 (imagem da esquerda) e outra segundo o plano k1-k3 (imagem da direita), na figura 1. Esta relação é evidenciada em particular pela disposição das plagioclases, assumidas como bons indicadores do escoamento magmático, apresentando as suas secções predominantemente oblatas na imagem da esquerda (plano k1-k2) e as secções predominantemente prolatas na imagem da direita (plano k1-k3).

A distribuição da orientação das plagioclases no plano que contém os eixos k1 e k2 está ilustrada na figura 2. Os resultados em forma de histograma indicam as diferenças angulares observadas entre o máximo de 1ª ordem da rosa de direcções das plagioclases e a direcção dos eixos k1 e k2. O aspecto mais evidente é a correlação bimodal entre as duas orientações. Em 53% dos casos o afastamento angular relativamente à direcção de k1 é inferior a 15° , mas em 47 % dos casos é superior a 45° . Em 40 % dos casos o afastamento relativamente ao eixo k2 é inferior a 30° .

Este comportamento sugere que tanto o eixo k1 como o eixo k2 poderão estar eventualmente associados à direcção do escoamento magmático, ou ainda, que o escoamento magmático poderá estar contido no plano de foliação magnética k1-k2, sendo independente da orientação destes.

Discussão

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que a interpretação dos resultados de ASM em diques estreitos, para amostras retiradas das margens, não deva ser baseada exclusivamente na orientação média de k1, mas sim num critério diferente.

Os dados experimentais de ASM obtidos em estudos de diques básicos dos Açores e de Mafra (Moreira *et al.*, 1999; Nogueira *et al.*, 2001) evidenciam dois aspectos fundamentais na caracterização do fabric magnético: (1) o eixo k3, pólo do plano da foliação magnética, é sistematicamente mais estável que o eixo k1, e (2) o plano da foliação magnética das amostras de cada margem é sistematicamente subparalelo ou ligeiramente oblíquo a essa margem. Este ângulo, que normalmente não ultrapassa os 20° , habitualmente denominado de imbricação magnética é interpretado como resultante de uma disposição imbricada dos grãos dos óxidos de (Fe, Ti), nas margens do dique. Esta disposição deve-se a fenómenos de cisalhamento simples, causados por diferenciais de velocidade predominantes nas margens do dique, que actuam sobre um fluido contendo fenocristais (essencialmente anisotrópicos) nos primeiros estados de cristalização (Knight & Walker, 1988; Arbaret *et al.*, 1996).

Esta observação leva à utilização de um critério que tem em conta a posição relativa do plano de foliação magnética relativamente à margem e que permite o cálculo de um vector de escoamento magmático (Geoffroy *et al.*, 2002). A direcção de escoamento magmático é definida pela normal à intersecção entre o plano da foliação magnética e a margem do dique, e o sentido é definido através da orientação do ângulo de imbricação magnética (ou seja, pelo ângulo agudo entre o plano da margem do dique e o plano de foliação magnética).

É de salientar que esta relação de simetria proposta, entre os planos de foliação magmática, a margem do dique e escoamento magmático é idêntica à utilizada para dedução do estiramento em zonas de cisalhamento simples dúctil com desenvolvimento de foliação metamórfica: o estiramento pode considerar-se como perpendicular à intersecção da foliação (S) com o plano da zona de cisalhamento (C) e o sentido do transporte tectónico faz-se do ângulo obtuso para o ângulo agudo formados entre estes dois planos.

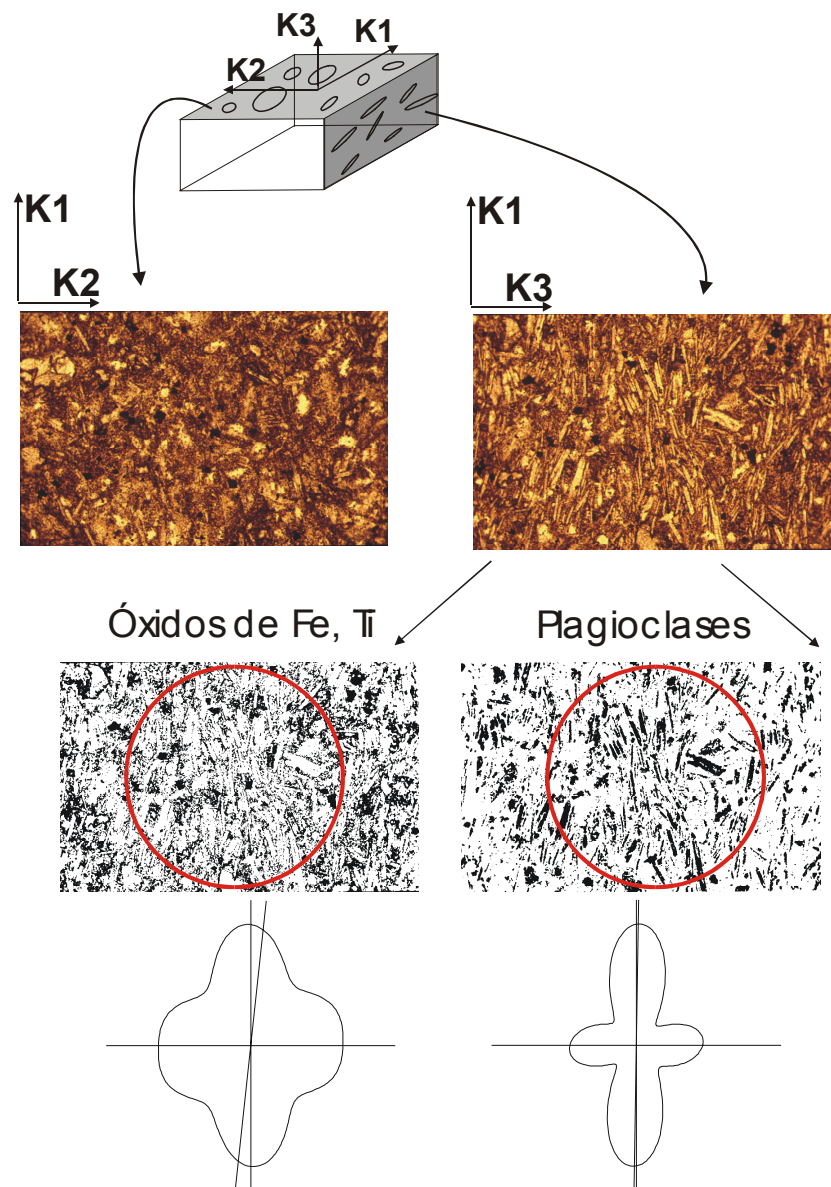


Figura 1 – Em cima: fotografias de duas lâminas delgadas cortadas segundo os planos k1-k2 (à esquerda) e k1-k3 (à direita). Meio: imagens processadas da fotografia da lâmina delgada k1-k3, com individualização das fases óxidos de Fe e Ti (à esquerda) e plagioclases (à direita). Em baixo: rosas de direcções das fases mineralógicas referidas.

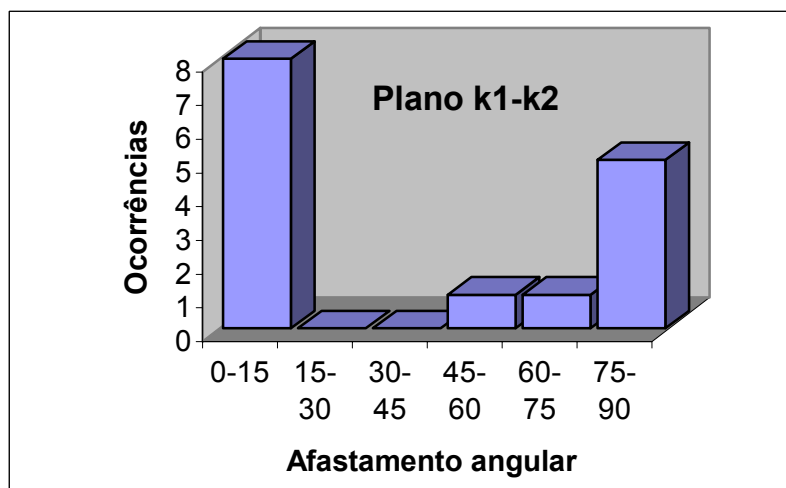


Figura 2 - Relação das diferenças angulares observadas entre o máximo de 1ª ordem da rosa de direcções da distribuição das plagioclases e a direcção do eixo k1.

Agradecimentos

Um dos autores, C.R. Nogueira, beneficiou de uma bolsa BIIC da FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) no âmbito do projecto GEOSTES (ref. PRAXIS/P/CTE/11052/1998).

Bibliografia

- Arbaret, L.; Diot, H. & Bouchez, J. L. (1996) - Shape fabric of particles in low concentration suspensions: 2D analogue experiments and application to tilting in magma. *Journal Structural Geology*, 18: 941-950.
- Coster, M. & Chermant, J. L. (1985) - Précis d'analyse d'images. *Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique*, Paris.
- Geoffroy, L.; Callot, J. P.; Aubourg, C. & Moreira, M. (2002) - Magnetic and plagioclase linear fabric discrepancy in dykes: a new way to define the flow vector using magnetic foliation. *Terra Nova*, 14: 183-190.
- Knight, M. D. & Walker, G. P. L. (1988) - Magma flow directions in dikes of the Koolau Complex, Oahu, determined from magnetic fabric studies. *Journal Geophysical Research*, 93: 4301-4319.
- Launeau, P. & Robin, P. -Y. F. (1996) - Fabric analyses using the intercept method. *Tectonophysics*, 267: 91-119.
- Moreira, M.; Geoffroy, L. & Pozzi, J. P. (1999) - Ecoulement magmatique dans les dykes du point chaud des Açores: étude préliminaire par anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) dans l'île de San Jorge. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 329: 15-22.
- Nogueira, C. R.; Moreira, M.; Monteiro, J. F. & Terrinha, P. (2001) - The Radial Dike Swarm of the Mafra Complex, Lusitanian Basin, Portugal. AMS results and implications on the emplacement mechanism. *Resumos da MAGIBER-I, Paleomagnetismo em Espanha e Portugal*, Burgos, 32-33.
- Rochette, P.; Jenatton, L.; Dupuy, C.; Boudier, F. & Reuber, I. (1991) - Emplacement modes of basaltic dykes in the Oman ophiolite: Evidence from magnetic anisotropy with reference to geochemical studies. In: T.J. Peters *et al.* (Editors), *Ophiolite Genesis and the Oceanic Lithosphere*. *Kluwer*, Dordrecht: 55-82.