

J. PINTO PEIXOTO * F. R. DIAS AGUDO * J. TIAGO DE OLIVEIRA * J. CAMPOS FERREIRA
MARGARITA RAMALHO * A. RIBEIRO GOMES * ARMANDO POLICARPO * F. DUARTE SANTOS
J. GOMES FERREIRA * L. A. MENDES VICTOR * MANUEL LARANJEIRA * M. GOMES GUERREIRO
J. CÂNDIDO DE OLIVEIRA * ROBALO CORDEIRO * J. CELESTINO DA COSTA * A. CASTRO CALDAS
BARAHONA FERNANDES * ARANTES E OLIVEIRA * A. F. CARVALHO QUINTELA * A. BARBOSA
DE ABREU * GOUVÊA PORTELA * L. BRAGA CAMPOS * J. J. DELGADO DOMINGOS * A. F.
OLIVEIRA FALCÃO * DOMINGOS MOURA * H. CAMPOS NETO * A. LARCHER BRINCA * J. F.
QUINTINO ROGADO * M. AMARAL FORTES * M. BAPTISTA BRAZ * M. PEREIRA COUTINHO
FERNANDO ESTÁCIO * P. O. PEREIRA SANTOS * A. A. MONTEIRO ALVES * BRITALDO RODRI-
GUES * L. AIRES DE BARROS * MATOS ALVES * M. PORTUGAL FERREIRA * ANTÓNIO RIBEIRO
FRANCISCO GONÇALVES * TELLES ANTUNES * LUÍS ARCHER * J. MONTEZUMA DE CARVALHO
J. FIRMINO MESQUITA * ABÍLIO FERNANDES * J. MALATO-BELIZ * ARSÉNIO PATO DE
CARVALHO * A. XAVIER DA CUNHA * ALLEN DEBUS * J. SIMÕES REDINHA * SEBASTIÃO
J. FORMOSINHO * A. M. A. ROCHA GONSALVES * L. ALMEIDA ALVES * OLIVEIRA CABRAL
FRAÚSTO DA SILVA * JOSÉ V. PINA MARTINS * AMÉRICO COSTA RAMALHO * FERNANDO
REBELO * C. ALBERTO MEDEIROS * ILÍDIO DO AMARAL * MANUEL GARRIDO ARAÚJO
MANUEL VIEGAS GUERREIRO * A. SIMÕES LOPES * A. SOUSA FRANCO * ONÉSIMO T. ALMEIDA
JUSTINO MENDES DE ALMEIDA * FRANCISCO GAMA CAEIRO * RÓMULO DE CARVALHO

HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL NO SÉC. XX

II VOLUME



PUBLICAÇÕES DO II CENTENÁRIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1992

ratórios do Centro de Geologia do Instituto de Investigação Científica Tropical, herdeiro dos Laboratórios a que aludimos e que a partir de 1957 tiveram papel fundamental no lançamento da cristalochimica e geoquímica no nosso país, quer no Departamento de Geologia da Universidade de Coimbra e de Geociências de Aveiro cujo razoável equipamento permite o trabalho experimental. Entretanto quer o Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, no campo de fluorescência de raios-X, quer o Laboratório de Mineralogia e Petrologia do IST neste campo e no da simulação laboratorial de envelhecimento de rochas desenvolvem acção relevante.

d) A geomatemática aplicada foi usada, de início no IST agora com o contributo dos investigadores do Centro de Valorização de Recursos Minerais, e na Universidade de Coimbra. Tem-se desenvolvido largamente nas outras Universidades e nos trabalhos dos investigadores do Serviço de Fomento Mineiro que publicam larga soma de dados das suas campanhas de prospecção com adequado tratamento geoestatístico.

GRANITOS, GRANITÓIDES

MATOS ALVES *

Summary

The author presents the main aspects of the Geology of Granites in Portugal as a consequence of the various theories on the origin and evolution of this puzzling rocks, object of curiosity, debate and uncertainties ever since the very first days of Petrology.

Estão ali, desde sempre. Mais numas regiões que noutras. As suas areias mais propícias para a ocupação pelo Homem, que as suas rochas duras. Quem as olhou pela primeira vez?; e quando? Quem as olhou primeiramente de forma organizada?

«O granito constituía já nos tempos mais remotos uma notável variedade de rocha e nos nossos dias ganhou ainda mais relevo. Os antigos não o conheciam sob esta designação, chamavam-lhe sienito, de Siene, um lugar nas fronteiras da Etiópia. As colossais quantidades desta rocha suscitaram aos egípcios pensamentos de obras colossais. Os seus reis erigiam em honra do Sol obeliscos desse material e mais tarde, em consequência do seu tom avermelhado, ele tomou o nome de fogo granulado. Ainda hoje, as esfinges, as imagens de Memnon, as monumentais colunas, constituem a admiração do viajante e mesmo actualmente, o impotente senhor de Roma ergue os destroços de um antigo obelisco que

* Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa.

os seus onnipotentes antepassados trouxeram inteiro de longes terras. Os modernos deram a esta rocha o nome que ela hoje tem, devido ao seu aspecto granuloso e ela teve de passar por alguns momentos de humilhação, até voltar a erguer-se à consideração de que hoje goza perante todos os cientistas da natureza. A enorme quantidade desses obeliscos e a maravilhosa mistura do seu grão, levaram um cientista italiano a pensar, que eles tinham sido feitos artificialmente pelos egípcios, produto de uma amálgama líquida que os aglutinava.

(...)

Contudo, uma advertência não será descabida aqui, mais do que para alemães, para estrangeiros, no caso de o presente estudo chegar até eles para que aprendam a distinguir bem esta rocha de outras. Ainda hoje (estamos em 1784) os italianos confundem a lava com o granito de grão fino e os franceses o gneisse, que designam por 'granito folhado' ou granito de segunda ordem. Até nós, alemães, que costumamos ser tão escrupulosos em tais assuntos, ainda não há muito tempo que confundimos aquilo que jaz morto, a jazida inânime, mistura de quartzo e de variedades de corneana, encontrada principalmente debaixo dos veios de ardósia, e também o grauvaque do Hartz, um conglomerado mais recente constituído por quartzo e partes de ardósia, com o granito»¹.

*

* *

Desde os primórdios dos estudos geológicos que as rochas graníticas são consideradas como materiais formados em condições que não se repetem, nos nossos dias, em nenhum lugar da superfície da terra. No século XVIII, Werner (1749-1817) nota, por volta de 1775, que uma quantidade de rochas (areias, calcários, etc.) se formam no mar. Generalizando, insensatamente, atribui esta origem a todas as rochas, mesmo basaltos, mesmo fonólitos. Claro e brilhante, tem na época uma autoridade notável. Torna-se o chefe de fila dos *Neptunistas*.

Para Hutton (1726-1797)² os materiais seriam de natureza fundida e ascenderiam desde a profundidade da crosta terrestre, onde se teriam originado pela fusão das massas rochosas. Para Werner a origem era exógena, enquanto que para Hutton ela era endógena, o que significava para o primeiro autor reportar aquelas rochas a um passado longínquo e ignoto e, para o segundo, atribuir-lhe origem nos espaços inacessíveis da profundidade, tese tão grata aos *Plutonistas*.

*

Em 1801 e 1803, James Hall (1726-1831) aquece calcário encerrado em tubos de ferro forjado. Em lugar de decompor-se como nos fornos de cal, funde e, depois, arrefecendo, recristaliza em calcário cristalino; está assim demonstrada experimentalmente a origem de uma rocha metamórfica pelo efeito conjunto do calor e da pressão. Em 1805, este mesmo autor, funde lavas do Etna e do Vesúvio. Arrefecendo-as brusca-mente, obtém vidro vulcânico; o arrefecimento lento conduz a basalto cristalino.

É a primeira síntese de rochas eruptivas.

Em 1825 e anos seguintes, Lyell introduz o termo metamorfismo e desenvolve noções em torno deste conceito³, e Sorby, em 1856, talha rochas em lâminas subteis que estuda ao microscópio polarizante, iniciando uma metodologia destinada a um desenvolvimento prodigioso.

Cotta, em 1862, classifica as rochas em eruptivas, metamórficas e sedimentares; em 1882 Green formula já ideias bem avançadas⁴ e, em 1887, Rosenbusch separa os primeiros três grupos: de projecção, de filão, de profundidade.

Daí é um passo até termos a consideração das análises químicas e das composições mineralógicas virtuais; procedimento adoptado, entre outros, por A. Lacroix (1863-1948).

A origem do granito, formado à revelia do olhar humano, é motivo de enorme teorização.

As experiências redobram-se. Em 1945, Wyart obtém um microgranito a partir de soluções.

Em 1851, Bunsen e, em 1957, Durocher, advogam a existência de dois magmas, ácido um, o outro básico, de geração crostal, a partir dos quais teriam origem todas as rochas ígneas e, certamente depois delas, as sedimentares e as metamórficas. Julgava Durocher que o magma leve e viscoso, de natureza ácida, sobrenadava na outra toalha, líquida, basáltica, densa, fluída. Claro que a existência ingénua e romântica destas duas toalhas líquidas não resistiu ao prosaísmo da investigação geofísica que, porém, pôs de manifesto que uma zona mais leve, siálica, se sobrepõe a uma camada densa, simática, de natureza basáltica. Parecia então lógico fazer derivar dessas duas toalhas os dois tipos magmáticos fundamentais: basáltico e granítico. Deste modo garantia-se ao granito origem ígnea.

*
* *

São os primeiros passos da Grande Polémica que, ainda, nos nossos dias, não terminou.

Adivinha-se em Shand (1927): «O contraste das rochas plutónicas e vulcânicas é patente na natureza: vêem-se os grandes maciços das primeiras, e importantes sistemas de escoadas das segundas, independentes umas das outras. É possível, no entanto, colher rochas de tipo intermédio e evidenciar uma graduação perfeita de textura, desde as lavas completamente vítreas, como as obsidianas, até ao granito completamente cristalino, passando pelos riólitos e porfiros graníticos», como se adivinha em H. e G. Termier em 1953: «há todas as transições entre o riólito (rocha de origem magmática) e o granito, e não se vê maneira de estabelecer separação nítida na série dos tipos intermediários; e, por outro lado, é fácil encontrar todas as passagens entre os xistos e os granitos por intermédio do metamorfismo crescente (filádios, mica-xistos, gneisses). O granito apresenta-se, então, como um ponto de convergência, como que a realização de um equilíbrio».

Para esta rocha podemos, então dizer, como Raguin:

— O granito forma-se algures em profundidade e propaga-se para cima como os magmas vulcânicos sendo a única diferença a resultante da granularidade da textura em relação com os vulcanitos, por via da cristalização que se opera em profundidade. Era o ponto de vista dos magmatistas puros;

— os granitos formam-se no próprio local onde jazem, sob a forma de injecções mais ou menos subtis de magma ou soluções impregnantes ou, ainda, de correntes iónicas através dos espaços granulares ou intergranulares. Eram os metassomatistas nascentes;

— os granitos formam-se no local de jazida sem concurso de materiais vindos de algures mas, sim, em resultado da fusão local, mais ou menos generalizada, das rochas pré-existentes. Era a anatexia diferencial.

É, assim, que se desenvolve a um ritmo impressionante, a literatura científica sobre estas rochas: Hutton, 1788, 1795; Lyell, 1830, 1833, 1838, 1875; Green, 1882; Bowen, 1928, 1947; Kropotkin, 1940; Niggli, 1942; Reinhard, 1942; Read, 1943, 1944, 1948, 1951, 1957; Holmes, 1945; Reynolds, 1943, 1946, 1947; Goodspeed, 1948; Drescher-Kaden, 1926, 1936, 1940, 1948, 1961; Raguin, 1948, 1949, 1957; Daly, 1947; Misch, 1949; Perrin

e Roubault, 1949; Backlund, 1938, 1946, 1953; Mehnert, 1959, 1962, 1965, 1968; Marmo, 1968, 1971; Sederholm, 1907, 1910, 1913, 1923, 1926, 1932, 1934, 1967; Goldschmidt, 1920, 1925; Augustithis, 1960; Emmons, 1964; Von Platen, 1965; etc. ...

*
* *

É observação antiga e corrente que os granitos têm, por vezes, contactos nítidos, cortantes, outras vezes, contactos difusos, conjugantes, com as rochas encaixantes. O geólogo norueguês Keilhau considerou tal passagem evidência de metassomatismo. Os franceses Lacroix, Michel-Levy, Termier, e outros, concluíram que os magmas graníticos eram acompanhados de soluções capazes de penetrar nas rochas adjacentes como o «óleo num tecido». Com este mecanismo de «mancha de azeite» as rochas são transformadas metassomaticamente em rochas semelhantes a granitos, preparadas, assim, para a transformação eventual pelo magma granítico em intrusão. Engenhoso compromisso entre o magmatismo e o transformismo nascente.

Sederholm considera muitos granitos da Finlândia como tendo sido gerados por palingénese («renascimento»), originando-se um «licor granítico» («ichor», correspondente às «colonnes filtrantes» de Termier) capaz de granitizar largas áreas circundantes⁵.

Eskola descreve o «ichor» como uma solução que a grandes profundidades enche os poros de todas as rochas, é mobilizado pelos movimentos orogénicos, espremido («squeezed out»), e introduzido na forma de granitos nos estratos superiores das cadeias de montanhas durante o enrugamento. Para Reinhardt formar-se-ia um «migma», isto é, material constituído por uma fracção sólida e outra líquida, podendo mobilizar-se e consolidar como um magma. Segundo Wegman o «ichor» teria a forma de películas que se movimentam nos espaços intergranulares; pode ser mobilizado pelos movimentos orogénicos ou ascender por força própria. A natureza do «ichor» foi muito discutida. Para Holmes e Backlund seria, antes, constituído por emanações de carácter pulsatório, representando uma migração iónica facilitada pela desordem e deformação das redes, pelas substituições e inversões polimórficas, etc.

O «ichor» foi, ainda, concebido como uma nuvem de moléculas, átomos ou iões libertos dos nexos cristalinos, isto é, uma espécie de gás presente em toda a rocha, possuindo poder altamente penetrante,

capaz de se mover nos espaços intergranulares e cristalinos, actuando como agente granitizante sempre que as condições são adequadas.

Concretizam-se, deste modo, entre os transformistas puros, duas correntes de pensamento. Uns põem a sua fé na «difusão líquida» («wet»), outros são acérrimos partidários da «difusão puramente iónica» («dry»). Presentemente a ideia do «ichor» não é satisfatória. Também as teorias da metassomatose generalizada são encaradas com séria reserva. As emanações vindas da profundidade nunca foram descritas com rigor, mas supunham-se sempre fonte de enriquecimento de alcalís, sódio e potássio, sobretudo. O mecanismo de tal processo invocando «emanações» sem intervenção de uma fracção fundida («melt») não era conhecido, se bem que alguns autores vissem nele a explicação da origem dos granitos nos complexos de base, onde as características de intrusão magmática não são evidentes. Buddington faz notar que não há dados físico-químicos experimentais nem teoria físico-química sobre que basear uma hipótese válida da origem das rochas graníticas por emanações. Por outro lado, para os geólogos, a discussão sobre a origem dos granitos e dos migmatitos terá de ter em conta as observações de terreno pela grande frequência do tipo de ligação que Read formula do seguinte modo: «quando seguimos rochas até os graus de metamorfismo mais elevados, encontramos, finalmente, o núcleo granítico».

A associação de rochas metamórficas, migmatitos e granitos, não pode ser accidental. Esta observação, à escala universal, sugere que a associação espacial destes tipos petrográficos é devida a processos realizados em condições de temperatura e pressão semelhantes, nas partes mais profundas da crosta, dando origem a rochas metamórficas de alto grau, tal como os migmatitos e granitos. A origem destes deve, então, ser considerada conexa com o metamorfismo de alto grau, nas zonas mais profundas dos orógenos.

As experiências capazes de elucidar a origem dos migmatitos e dos granitos mostram que os processos de anatexia são de primeira importância petrológica.

Os conhecimentos actuais levam a admitir a formação de grandes quantidades de fracções fundidas de composição granítica, granodiorítica e tonalítica, por anatexia, processo com base físico-química bem estabelecida. Os magmas não existem desde o início da história da terra, mas produzem-se nas profundidades dos geossinclinais por refusão diferencial de arcoses, xistos, calcários e grauvaques; nasce assim o conceito de um novo magma, o magma anatético de Sederholm ou neomagma de

Goodspeed e surge um mecanismo que liberta os granitos e os granodioritos da relação filial com os magmas-parentais de natureza basáltica.

Sederholm, ao sugerir que as estruturas fortemente contorcidas observadas nos migmatitos, se originaram quando a rocha estava em estado de fusão, introduz um conceito («melting condition») confirmado pelas experiências mais recentes. As porções de cor clara, de composição granítica, podiam explicar-se, segundo aquele autor, como produto da fusão parcial dos gneisses originais por um processo denominado anatexia.

A fusão começa independentemente da quantidade de água à temperatura surpreendentemente baixa de 650 °C a 700 °C, rapidamente atingida durante o metamorfismo de alto grau.

*

Se bem que a anatexia seja, actualmente, reconhecida como um processo essencial na formação dos migmatitos, a natureza daquele fenómeno era desconhecida até muito recentemente. Não havia nenhuma concepção clara no que respeita à natureza das fracções fundidas que se produziam, de tal modo que a formação de migmatitos sem acarreo de alcalís era tida por impossível.

Deve-se a Mehnert a afirmação de que em casos simples, quando é possível a análise quantitativa «a soma do metassoma (porção leucocrática de composição granítica) e do paleossoma (resíduo ferromagnésico) indica constância global de matéria».

A anatexia produz «in situ», no seio do próprio complexo gneissico, banhos fundidos de composição granítica que, inicialmente, se segregam sob a forma de lenticulas e veios e assim se separam, à escala centimétrica ou das dezenas de centímetro, do resíduo cristalino. Os magmas assim obtidos têm composição granítica ou granodiorítica podendo cristalizar nos níveis crostais onde se formam ou migrar para níveis mais elevados da crosta e ser intrusivos.

Com base nas relações com as rochas encaixantes, Read reconheceu vários grupos de rochas graníticas:

- a) Granitos autóctones, repousando no lugar de origem, intimamente relacionados com as rochas metamórficas e migmatitos;

- b) granitos para-autóctones, deslocados ligeiramente do local de formação, e com contactos difusos com o encaixante;
- c) granitos intrusivos, que tendo deixado o lugar de formação ocupam presentemente posições discordantes;
- d) plutões graníticos, tendo ascendido para posições mais ou menos profundas da crosta.

Os autores que introduziram o conceito de neomagma consideram, no entanto, possível, que certos magmas graníticos se tenham formado por diferenciação a partir de magmas basálticos embora em quantidades muito subordinadas.

Tais magmas terão temperaturas muito elevadas, da ordem de 950 °C e podem, por conseguinte, atingir a superfície da crosta sob a forma de lavas riolíticas ou obsidianas.

A maioria dos granitos ter-se-ia, entretanto, formado por anatexia.

Na opinião de Winkler, por exemplo, os granitos, tais como as porções neossomáticas dos migmatitos, cristalizam dos magmas anatéticos.

Ainda segundo este autor, o trabalho experimental de Tuttle e Bowen (1958) sobre a anatexia e o «sistema granítico», constitui uma contribuição importante para o estudo do problema e vem reforçar decididamente a posição dos neomagmatistas.

A complexidade da interpretação dos processos manifesta-se mesmo nas diferentes interpretações dadas aos vocábulos para os caracterizar. Para MacGregor e Wilson (1939): «numa definição ampla, granitização, é um conjunto de transformações pelo qual rochas sólidas se convertem em rochas com características de granitos, o que inclui processos como palingénese, sintexia, transfusão *, permeação *, metassomatismo, migmatitização, injeção, assimilação e contaminação, tal como têm sido definidas por vários autores, raramente com rigor...», enquanto que para Read significa a passagem de rochas sólidas a granitos sem passagem por estado magmático. Este autor afirmava em 1957: «Whilst the amount of the visible volcanic rock like rhyolite appears to be of the right order to be derived by crystallisation-differentiation from the visible basalts, the gigantic volume of granitic rocks is, in my opinion, an unsurmountable objection to the theory. After all, what was to be explained is what is seen in the crust, not what is seen in — the bottom of a little crucible —».

* Termos sem tradição na «granitologia» portuguesa.

de estrutura ligeiramente dolerítica, apresentando fenómenos, mais ou menos evidentes, de granitização. A generalização destas observações aos granitos franceses mostrou que muitos deles possuem encraves microgranulares de natureza variável (de microgranito a microdiorito) tendo, então, escassez de encraves de rochas cristalofílicas, enquanto

*
* *

J. Didier e M. Roques da Faculdade de Ciências de Clermont-Ferrand, em França, equacionaram o problema da génese dos granitos, de forma engenhosa, a partir do exame do Maciço Central Francês e dos encraves encontrados nestas rochas.

A análise das condições de jazida dos maciços graníticos do Maciço Central permitiu àqueles autores considerá-los divididos em três tipos:

- 1) Um tipo de anatexia ou sinmetamórfico, concordante, de bordadura espessa, migmatítica, e estruturas granítico-migmatíticas, quase constantes, no interior do maciço.
- 2) Um tipo subconcordante, com bordadura de migmatitos estreita, esporádica e estruturas graníticas ora equigranulares ora orientadas e migmatíticas: tipo sintectónico.
- 3) Um tipo pós-tectónico, discordante, de aspecto intrusivo e contactos francos, com estruturas graníticas equigranulares e auréola de corneanas.

*

A abundância de resíduos xistosos e gnáissicos no primeiro tipo de granitos e a feldspatização progressiva que mostram, sugerem a hipótese da sua formação «in situ», por mecanismo metassomático, a partir dos xistos cristalinos.

Quanto ao último tipo (pós-tectónico), a atitude dos contactos, a sua homogeneidade e a escassez de encraves xistosos, permitem considerar a origem magmática. No entanto, em 1953, dois geólogos franceses, Thiebaut e Escande, observaram a existência de fenómenos de feldspatização nos xistos do quadro encaixante do maciço do Sidobre, exemplo típico de granito pós-tectónico. Aqueles investigadores consideraram a referida feldspatização um fenómeno muito local, limitando-se a uma faixa de alguns metros em torno do bordo do maciço granítico e que

os feldspatos e o quartzo assim desenvolvidos eram perfeitamente semelhantes aos do granito. Pareceu-lhes, então, que este maciço seria, ainda, o resultado da transformação «in situ» das rochas encaixantes.

Mas, ao penetrar no maciço, verifica-se que a maior parte dos encraves não é de natureza xistenta ou gnéssica mas de uma rocha microgranular, de composição mineralógica microdiorítica quartzífera, que estes são abundantes em detrimento dos encraves microgranulares, nos granitos de tipo sinmetamórfico (anatexia).

Definem-se, com base nestes argumentos, dois tipos de granitização metassomática:

1) *Granitização directa* — granitização dos xistos cristalinos «in situ». Corresponde aos maciços sinmetamórficos.

2) *Granitização indirecta* — granitização precedida pela instalação de maciços microgranulares, geralmente da natureza microdiorítica, de origem magmática (pelo menos até melhor explicação), responsáveis pelo metamorfismo de auréola. Nestes casos a granitização pode ultrapassar ligeiramente o quadro do maciço magmático (caso de feldspatização dos xistos e corneanas encaixantes). Um argumento bastante válido a favor deste mecanismo é a existência dos encraves duplos (encrave de xisto ou gnaise, no interior do encrave microgranular). Outra observação muito importante é a ausência de transição entre os encraves cristalo-fílicos e os encraves microgranulares, que durante muito tempo foram considerados produtos de granitização daqueles. Por outro lado, a auréola de corneanas é, segundo aqueles autores, da responsabilidade do maciço magmático, microdiorítico quartzífero.

Os autores referidos não deram, no entanto, até agora, qualquer explicação para a origem dos granitos de tipo híbrido, que denominaram sintectónicos, com as características referidas oportunamente.

Este tipo de explicação documenta uma posição metassomatista extrema, embora aqueles autores considerem a possibilidade de formação de rochas granulares por consolidação directa de magma, sem darem, no entanto, qualquer ideia sobre a origem de tal magma (cristalização fraccionada?) ou sobre o crucial problema do espaço para a implantação do mesmo.

*
* *

Mais recentemente com a contribuição da geologia isotópica entra-se num período muito frutuoso de reexame da problemática do estudo dos granitos e revisão, mesmo, da sua nomenclatura. É assim que surgem, entre outras designações, a de granitos tipo S e tipo I, da autoria de Chappell e White (1974). Os primeiros, resultantes da «granitização» de rochas crostais associadas à formação de complexos magmáticos, têm razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ elevadas, enquanto que os segundos, resultantes da assimilação crostal por material magmático de derivação mantélica, terão aquelas mesmas razões com valores baixos ($\approx 0,706 - 0,708$).

A GRANITOLOGIA PORTUGUESA

«... mas para se chegar a este conhecimento (com lástima se deve notar), há poucas esperanças de se alcançar tão cedo, visto que o gosto para as Ciências Naturais ainda não se introduziu em Portugal; e se hum ou outro tem alguma inclinação para ellas, não só lhe faltão todos os meios para a sua applicação, mas também lhe faltão os estímulos para prosseguir nestes estudos. O que mais ainda he para admirar, que este paiz tão interessante para os Geologistas, tenha ficado até agora em abandono mesmo pelos Naturalistas estrangeiros, que viajam pelas mais remotas partes do mundo e o pobre Portugal ficou sempre em esquecimento, de sorte que este canto da Europa civilizada ainda he menos conhecido que os sertões da América, e os desertos do Egypto». Barão de Eschwege in «Sobre os Hippurites», *Mem. Acad. Real das Sciencias de Lisboa*, t. XI, pp. 271 e 272, Lisboa, 1831.

*
* *

Pombal contribuiu para estimular o espírito de observação com a reforma da Universidade. Chamou, em 1765, o naturalista italiano Domingos Vandelli, que se julga ter leccionado primeiramente no Colégio dos Nobres, e foi depois, em 1772, quando criadas em Coimbra as cadeiras de História Natural e Química, ali colocado como professor. Embora estivesse dedicado especialmente à Botânica, interessava-se por

todos os ramos da Ciência. Relativamente à Geologia, porém, pouco produziu pois, além de pequenos trabalhos dizendo respeito ao seu aspecto económico como a «Memória sobre algumas produções naturais deste Reino, das quais se pode tirar utilidade» (1789), traduzida em 1820 por Zinchen, apenas publicou a sua comunicação também à Academia das Ciências de Lisboa — entre 1780-1788 — «De Vulcano Olisiponensis et Montis Ermini», na qual procurou mostrar a «existência de imponentes vulcões de que a história não guardava lembrança» e indicou a presença, em vários pontos do país, de granito e de basalto.

Coincide com o final do século XVIII e princípios do seguinte o estabelecimento de uma verdadeira ciência geológica. O estudo oficial das ciências naturais em Portugal, e em especial, das ciências geológicas, é estabelecido pela carta régia de 24 de Janeiro de 1791 dirigida pela Rainha D. Maria I a D. Francisco Rafael de Castro, Reformador-Reitor da Universidade de Coimbra; criava na Faculdade de Filosofia uma cadeira de zoologia e mineralogia. Por decreto de 5 de Dezembro de 1836 a mineralogia e zoologia foram separadas constituindo a cadeira autónoma de Mineralogia, Geognósia e Metalurgia. As ciências geológicas haviam encontrado os moldes que, com modificações de carácter mais ou menos secundário, perduraram em todo o ensino superior através do século XIX.

Por essa época o Conde de Hoffmanssegg e H. Fr. Link estudavam a flora da Península, tendo este aproveitado a oportunidade para fazer observações geológicas. Os resultados foram publicados primeiramente em 1801, «Geologische und Mineralogische Bemerkungen auf eine Reise durch das Südwestlich Europe besonders Portugal» e, quatro anos depois, em «Voyage au Portugal par le Comte Hoffmanssegg» apresentavam-se novas indicações.

Link, como desconhecesse os trabalhos estratigráficos da época, fez classificações dos nossos terrenos apenas de acordo com a sua natureza petrográfica. Considerou quatro grandes grupos que são, por ordem cronológica: I (formação fundamental) granito; II (formação inferior) grés com xistos, conglomerados e alguns calcários; III (formação média) argilas, ardósias, gesso, sal, carvão, pórfiro, trapp, basalto, etc.; IV (formação superior) grupo de calcários.

Figura de grande relevo, com acção preponderante por esta época, José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838) foi discípulo de Haiüy, Werner e outros, e colega de Humboldt e Buch na Academia de Minas de Freiburg. É, a partir de 1800, professor da cadeira de Metalurgia da

Universidade de Coimbra e Intendente Geral de Minas e Metais do Reino. Pela sua actividade, sobretudo virada para a problemática dos minérios e dos jazigos, deve considerar-se este cientista o primeiro geólogo português (in C. Teixeira e F. Gonçalves, 1980).

Em 1848, José Pinto Rebelo de Carvalho, publica uma notícia topográfica e física sobre o Gerês, com alusão à geologia da região. Foi o ano da criação da Comissão Geológica, sob a direcção de Charles Bonnet. Em 1857 é criada a 2.ª Comissão Geológica, desta feita sob a direcção de Filipe Folque, Ferreira da Costa e Carlos Ribeiro, e os adjuntos Nery Delgado e António Augusto Aguiar.

É, no entanto, a 3.ª Comissão («Secção de Trabalhos Geológicos»), chefiada por Carlos Ribeiro, quem, verdadeiramente, inicia os trabalhos de investigação geológica (Carlos Teixeira, F. Gonçalves, 1980).

São fruto desta circunstância os múltiplos trabalhos de autores portugueses e estrangeiros que, durante cerca de 4 décadas, enobrecem a nascente geologia nacional que, então, ombreou com o que se fazia além fronteiras.

Com a criação em 1931 da licenciatura em Ciências Geológicas emergem as melhores iniciativas das Faculdades de Ciências e, nos anos 40, a fundação no Porto da Sociedade Geológica de Portugal, teve importância substancial na evolução do panorama português. É a partir desta data que se faz sentir de novo a influência dos Serviços Geológicos de Portugal, com a sua cartografia geral do país, onde se destacam os nomes de C. Teixeira, Zbyszewski, Carvalhosa, A. Medeiros e outros.

*

* *

Se no início, como noutros países, há uma grande divisão, senão, mesmo, hostilidade, entre os geólogos de campo e aqueles mais dedicados aos laboratórios (que em França se apelidavam, acintosamente, de «pétrographes-des-tiroirs»), é, talvez, por força destes que mais se desenvolve o que poderá chamar-se «granitologia portuguesa».

Pereira de Sousa, Amílcar de Jesus, Torre de Assunção, Brack-Lamy e Guerreiro Boto, em Lisboa, Coteló Neiva em Coimbra e Montenegro de Andrade no Porto, são, até ao aparecimento dos geólogos do urânio, os expoentes maiores dessa maneira nova de estar na Geologia e na Petrologia. De entre os estrangeiros é justo salientar Schermerhorn, Westerveld, Oen Ing Soen, Floor, Priem e Capdvila.

Porém, ainda hoje não é fácil caracterizar uma escola portuguesa, um instituto, um grupo de investigação, claramente especializado em estudar rochas graníticas: a sua geologia, estrutura, petrologia, a génese, em suma. Tanto mais curioso quanto se pode afirmar que Portugal é território de calcários, xistos e rochas granitóides, se quisermos resumir em três tipos petrográficos, a esplêndida variedade litológica da nossa área continental.

A razão desta situação talvez possa encontrar-se no facto de as maiores escolas se situarem nas orlas meso-cenozóicas, polarizando nas rochas destas, os seus interesses primordiais.

Há, porém, e sempre houve, cientistas portugueses a estudar rochas granitóides e as problemáticas das suas natureza e origem, tendo desde cedo deixado a sua marca no pensamento geológico português que, também ele, se fez eco da dicotomia sistemática e genética que as caracteriza. Outro facto curioso reside na ligação que é possível estabelecer entre o desenvolvimento da consciência da problemática dos granitos e interesses económicos e/ou geopolíticos relacionados com o aparecimento ou desenvolvimento de várias instituições nacionais ligadas às Ciências Geológicas. É assim com os Serviços Geológicos de Portugal, Direcção-Geral de Minas, Junta de Energia Nuclear, Junta de Investigações do Ultramar, Centros de Estudos do INIC, etc.

De entre os interesses económicos e, ou, geopolíticos, salientam-se os ligados aos sulfuretos metálicos, aos minérios de estanho e de volfrâmio, mais tarde, e talvez mais explicitamente, ao urânio, e, também, à exploração das próprias pedras ornamentais, onde a pedra granítica aparece cada vez mais procurada e valorizada.

Num primeiro tempo, imperam trabalhos de terreno; com eles surgem as primeiras interrogações e o percurso português repete o que se passa lá fora. As mesmas dúvidas, hesitações, polémicas. Assim, também é possível falar entre nós de magmatistas e transformistas.

E quem não recordará com saudade a veemência do malogrado Ludgero Pilar na defesa das suas concepções? O advento em Portugal da Geocronologia absoluta com os trabalhos do Doutor Francisco Mendes, que culminariam com a elaboração de uma tese de doutoramento sustentada na Universidade de Clermont-Ferrand em 1968, tem sucesso na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, na pessoa do Professor Martim Portugal-Ferreira e seus colaboradores, onde passa a ser o seu foro principal. Esta técnica veio abrir novas perspectivas em Portugal para o estudo das rochas granitóides, possi-

bilidades que hoje felizmente se ampliaram, com o acesso a resultados desta índole na Universidade de Aveiro através dos trabalhos do Professor Serrano Pinto.

No Fomento Mineiro cria-se um forte sector de prospecção geoquímica em torno da liderança do Dr. J. M. Santos Oliveira, enquanto que em Coimbra, o Professor Manuel Maria Godinho impulsiona, desde o início da década de 70, os estudos dos granitóides do Norte e do Centro de Portugal. Também os Professores Coteló e Ana Neiva dão valiosa contribuição naqueles estudos.

Talvez não se tenha assistido entre nós a polémica tão acesa como entre os colegas estrangeiros. Não obstante, de uma maneira ou de outra, todos tomaram partido: os homens da carta geológica, os das Faculdades, do Fomento, etc.

*
* *

Do estudo das arcoses sobrepostas aos conglomerados da base do Câmbrico concluiu-se que, anteriormente à deposição deste Sistema, havia rochas graníticas alcalinas, aflorantes, anteriores aos conglomerados, portanto pré-câmbricas; são rochas leucocráticas, microclínicas, com albite-oligoclase, quartzo, biotite e moscovite.

Os granitos, melhor, as rochas granitóides sardas, da orogenia Caledónica, câmbricas, são rochas orientadas, com passagem a gneisses migmatíticos (granito do Porto) ou extremamente tectonizadas, milonitizadas e xistificadas (granito de Portalegre); ortose, microclina, oligoclase sódica, quartzo, biotite e moscovite. A tectonização relaciona-se com a fase principal da orogenia hercínica, cujos granitos intrudem os anteriores.

Em Alter Pedroso - Vaiamonte - Falcato, identificam-se gneisses hastingsíticos, pós-câmbricos.

Durante a orogenia hercínica (iniciada na Península no Devónico médio até depois do Estefaniano) o magmatismo sinorogénico caracteriza-se pela abundante produção de granitóides que pertencem a duas séries: (1) granitóides alcalinos e aluminosos. De acordo com as relações $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, esta série parece produzida por anatexia húmida da parte média da crosta, implantada durante a tectogénese e controlada pelo metamorfismo regional. Petrograficamente são rochas com plagioclases de composição albítica e/ou oligoclásica-ácida, predominando tipos com

duas micas, leucocráticos, com teores de biotite e moscovite equivalentes, e apatite comum, formando três séries:

— granitos gneissicos implantados cerca de 350 ± 10 MA, afectados em parte pela primeira fase da deformação hercínica;

— granitos autóctones de duas micas, ligados a migmatitos e granitos de anatexia e para-autóctones mais ou menos deformados e contemporâneos da segunda fase hercínica, cerca de 300 ± 10 MA;

— granitos de duas micas e megacrístais, alóctones, ligeiramente tardios;

e (2) a granitos calco-alcalinos com oligoclase — andesina, biotite mais importante que moscovite, encraves microdioríticos abundantes, mesocráticos com mirmequite e pertites de exsolução, hornblenda e piroxena por vezes presentes e minerais acessórios abundantes: titanite, apatite, opacos, formando dois grupos:

— granitos com megacrístais, com biotite e oligoclase, deformados pela segunda fase hercínica e implantação próxima de 320 ± 10 MA;

— granitos pós-tectónicos, circunscritos, implantados cerca de 280 ± 10 MA.

Mais tarde, relacionados com fases da orogenia alpina, formam-se os maciços sub-vulcânicos, anelares, de Sintra, Sines e Monchique. Nos dois primeiros há granitos embora com significados diferentes. Enquanto que em Sintra os granitos são abundantes, importantes e, se bem que controversos, são para alguns autores verdadeiros membros da sequência petrográfica aí presente, os de Sines são quase raros, vestigiais, e, provavelmente, remobilizados do soco, não sendo, então, mais do que encraves.

Os granitos, no primeiro destes maciços, parecem interromper a sequência de diferenciação magmática normal numa série alcalina, e serem devidos a sintexia motivada pela assimilação de grés do Apciano-Albiano, embora vários autores sugiram outras hipóteses (Wright, 1968; Sparks & Wadge, 1975; Rock, 1981).

Notas

¹ In: «A propósito do Granito» (notas de Goethe para um romance sobre o Universo, tradução de Elga Quadrado, in Boletim Informativo do Departamento de Geologia). Este trabalho sobre o granito foi ditado por Goethe a partir de 18 de Janeiro de 1784 e faz parte de um romance sobre o Universo que Goethe tencionava escrever desde 1781, mas que não chegou a executar. No pensamento geológico de Goethe, o granito ocupa um lugar de destaque no contexto da cristalização da Terra a partir de um estado primário líquido. (Estas observações são da autoria de Erich Trunz, o editor da edição crítica das obras de Goethe).

² «Without seeing granite actually in a fluid state, we have every demonstration possible of this fact: that is to say, of granite having been forced to flow, in a state of fusion, among strata broken by a subterraneous force», 1775.

³ «A teoria metamórfica não requer que seja uma mera acção no interior da terra, a profundidade desconhecida... análoga à que se exerce nas imediações das massas intrusivas de granito, no decurso de indefinidos períodos, e elevando-se, talvez a partir de uma vasta superfície quente, reduz milhares de metros de sedimentos a um estado de semifusão, de modo que recristalizem por arrefecimento sob a forma de gneisses. O granito pode ser o resultado da mesma acção com outro grau de intensidade produzindo fusão generalizada; assim se pode explicar a passagem gneisse granito» (1938).

⁴ Sabemos que o granito ocorre sob três formas. Na primeira retém ainda traços de estratificação ou é interstratificado com rochas indubitavelmente estratificadas; neste caso não haverá dúvidas que é uma rocha intensamente metamorfizada. Na segunda forma o granito ocorre em massas amorfas, fundindo progressivamente em todas as direcções através dos estratos incólumes, não mostrando nenhum sinal de ter sido introduzido violentamente neles, mas, pelo contrário, revelando-se como se tivesse preenchido espaços uma vez ocupados por rochas em tudo semelhantes às que o rodeiam. Tais espaços explicam-se melhor supondo que porções de rocha regional onde estas massas ocorrem se transformaram em granito, tendo o metamorfismo sido mais intenso do que na produção de granitos da forma anterior, já que a estratificação foi obliterada, mas não tão energeticamente que os granitos tenham poder de erupção. Na terceira forma os granitos comportam-se eruptivamente, penetrando nas rochas circundantes o que pode atribuir-se com razoabilidade à maior energia metamórfica envolvida no processo (1882).

⁵ «Assim não espero que as ideias que aqui exponho sejam imediata e geralmente aceites, particularmente por todos aqueles tendo viajado nos terrenos gneissicos sem entender a enorme importância do fenómeno de injeção granítica e a sua ocorrência generalizada. O que desejo é que tais viajantes não neguem completamente a existência de tal fenómeno, e que admitam que cheguei ao conhecimento do 'renascimento' ou 'palingénese' do magma granítico por indução e não por despeito a alguma autoridade ou por geologia de Cátedra. Ouso mesmo sugerir este nome novo 'Palingénese', a despeito da enorme variedade de vocábulos

já em uso nestas matérias, pelo meu desejo de sublinhar veementemente o significado filosófico do processo (se é legítimo empregar esta expressão), que é, num verdadeiro sentido, regional, e pode considerar-se pelo menos de tanta importância como o metamorfismo e outros processos geológicos fundamentais. De acordo com o ponto de vista que aqui tenho tentado defender, o metamorfismo regional é uma forma atenuada das transformações que a profundidades maiores causam a palingénese. Assim, regressamos a uma ideia que é, fundamentalmente, a mesma que iluminou a velha teoria do metamorfismo plutónico» (1967).

Bibliografia

- ALVES, C. A. Matos (1966) — «Alguns aspectos do problema dos granitos». *Palestra*, 28: 38-55.
- BACKLUND, H. G. (1946) — «The granitization problem». *Geol. Mag.*, 83-105.
- BACKLUND, H. G. (1953) — «The granitization problem». *Estud. Geol.*, Inst. Invest. Geol. «Lucas Mallada» (Madrid), 9-71.
- BARTH, T. F. W. and SORENSEN, H. (1961) — «Symposium on migmatite nomenclature». *Int. Geol. Congr.*, 21st, Copenhagen, 1960. Rep. Session, Norden, 24: 54-78.
- BOWEN, N. L. and TUTTLE, O. F. (1950) — «The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-H}_2\text{O}$ ». *J. Geol.*, 58: 489-511.
- DALY, R. A. (1949) — «Granite and metasomatism». *Am. J. Sci.*, 247: 753-778.
- DRESCHER-KADEN, F. K. (1969) — *Granitprobleme*. Akademie-Verlag, Berlin, 586 pp.
- EMMONS, R. C. (1964) — «Granites by recrystallization». *Am. J. Sci.*, 262: 561-591.
- ESKOLA, P. (1932a) — «On the origin of granitic magmas». *Mineral. Petrogr., Mitt.*, 42: 455-481.
- ESKOLA, P. (1932b) — «On the principles of metamorphic differentiation». *Compt. Rend. Soc. Geol. Finl.*, 5: 68-77.
- ESKOLA, P. (1948) — «The nature of metasomatism in the processes of granitization». *Int. Geol. Congr.*, 18th, Londres, 1948. Rept., 3: 1-9.
- ESKOLA, P. (1955) — «About the granite problem and some masters of the study of granite». *Compt. Rend. Soc. Geol. Finl.*, 28: 117-130.
- FARINHA RAMOS, J. M. e SANTOS OLIVEIRA, J. M. (1977) — «Prospecção geológica e geoquímica na área scheelítica de Vila Nova de Foz Côa (norte de Portugal)». *Estudos, Notas e Trabalhos do SFM*, v. 23, fasc. 3-4.
- LYELL, C. (1938) — *Principles of geology*, 1. John Murray, Londres, 511 pp.
- MARMO, V. (1968) — «On the granite problem». *Earth Sci. Rev.*, 3: 7-29.
- MARMO, V. (1971) — *Granite Petrology and the Granite Problem*. Elsevier, Amsterdão, 244 pp.
- MEHNERT, K. R. (1968) — *Migmatites*. Elsevier, Amsterdão, 393 pp.
- MISCH, P. (1949) — «Metasomatic granitization of batholithic dimensions». *Am. J. Sci.*, 247: 372-406.
- PERRIN, R. (1954) — «Granitization, metamorphism and volcanism». *Am. J. Sci.*, 252: 449-465.
- PERRIN, R. (1956) — «Granite again». *Am. J. Sci.*, 254: 1-18.
- PERRIN, R. & ROUBAULT, M. (1949) — «On the granite problem». *J. Geol.*, 57: 357-379.
- RAGUIN, E. (1957) — *Geologie du Granite*. Masson, Paris, 275 pp.
- RAGUIN, E. (1965) — *Geology of Granite*. Interscience, New York, 312 pp.
- READ, H. H. (1948) — «Granites and granites». *Geol. Soc. Am. Mem.*, 28: 1-19.
- READ, H. H. (1957) — *The Granite Controversy*. Murby, Londres, 430 pp.
- REYNOLDS, D. L. (1947) — «The Granite Controversy». *Geol. Mag.*, 84: 209-223.
- ROCK, N. M. S. (1981) — «The late Cretaceous alkaline igneous province in the Iberian peninsula, and its tectonic significance». *Lithos*, vol. 15, pp. 11-131. Oslo.
- SANTOS OLIVEIRA, J. M. (1969) — «Aspectos geoquímicos de pegmatitos e veios da área estano-volfrâmica de Amarante-Celerico de Basto». *Notas e Trabalhos do SFM*, v. 19, fasc. 3-4.
- SANTOS OLIVEIRA, J. M. (1975) — «Aplicação de técnicas matemáticas (programas para computador) à Geologia Económica. Análise multivariada de dados geoquímicos de rochas graníticas do norte de Portugal». *II Congr. Ibero-Americano de Geologia Económica*. Buenos Aires. Tomo III, pp. 535-558.

- SEDERHOLM, J.J. (1913) — «On regional granitization (or anatexis)». *Compt. Rend. Int. Geol. Congr., Canada*, 12: 319-234.
- SEDERHOLM, J.J. (1967) — *Selected Works. Granites and Migmatites*. Oliver & Boyd, Edinburgh-Londres, 608 pp.
- SPARKS, R. S. J. & WADGE, G. (1975) — «Geological and Geochemical studies of the Sintra alkaline complex, Portugal». *Bull. Volcanologique*, 39: 385-406.
- TEIXEIRA, C. & GONÇALVES, F. (1980) — *Introdução à Geologia de Portugal*. INIC.
- TUTTLE, O. F. (1955) — «The origin of granite». *Sci. Am.*, 194: 77-82.
- TUTTLE, O. F. & BOWEN, N. L. (1958) — «Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ». *Geol. Soc. Am. Mem.*, 74: 1-153.
- VON PLATEN, H. (1965) — «Experimental anatexis and genesis of migmatites». In: W. S. Pitcher & G. W. Flinn (Editores), *Controls of Metamorphism*, 10. Oliver & Boyd, Edimburgo-Londres, pp. 203-218.
- WALTON, M. (1960) — «Granite problems. The exploration of physical and chemical processes leads to a reorientation of our thinking». *Science*, 131: 635-645.
- WINKLER, H. G. F. (1967) — *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer, Berlin, 2. Aulf., 218 pp.
- WRIGHT, J. B. (1968) — «Re-interpretation of a mixed petrographic province — the Sintra intrusive complex (Portugal) and related rocks». *Geol. Rundschau*, 58: 538-563.

O DESENVOLVIMENTO DA PETROLOGIA METAMÓRFICA EM PORTUGAL NO SÉCULO XX

M. PORTUGAL FERREIRA *

Summary

The major arguments and scientific questions on Metamorphic Petrology raised by the geologists who worked on the Internal Zones of the Caledonide, Hercynide, Apalachian and Alpine Chains, at the beginning of this century are reviewed. Their questioning about the nature of the protholiths, P-T conditions and age for the metamorphic recrystallization and deformation, open versus closed systems, the relationship with granitization and evolution of orogenic belts, the role of vertical versus tangential dynamics are nowadays as valid as they were one century ago. The contributions of the Masters of Metamorphism are to be seen as discontinuities in a historical evolution supported by the work of those who seriously collected and refined data, proposed new interpretations and applied models, introduced and improved techniques, studied new domains. One finds out that the techniques and results of experimental petrology, radiometric dating, isotopic and trace element geochemistry, remote sensing, microprobe analysis, as well as the geochemical and geophysical modelling, data processing, and appraisal of deterministic versus stochastic concepts were introduced into the portuguese scientific system with considerable and undesirable retards. But also at us the outcrops of metamorphic rocks are gradually and progressively being analysed with higher magnifications and more powerful techniques and interpreted within the framework of larger scales of integration.

At the end of this paper one may reach its own conclusion that 1) at the beginning of this century, there was at the Geological Survey of Portugal the highly marked geological mapping of Nery Delgado (1835-1908) and the work of Sousa Brandão (1865-1916) with excellent petrographic descriptions of metamorphic rocks and 2) starting in the decade of 1960, the study of several aspects (mineralogy,

* Professor Catedrático da Universidade de Coimbra.